



**TUGAS AKHIR - RF141501**

**PEMODELAN 3D POTENSI EMAS EPITERMAL *LOW SULFIDATION* MENGGUNAKAN METODE *RESISTIVITY* DAN *TIME DOMAIN INDUCED POLARIZATION* DI BLOK “PGRI”, J-RESOURCES NUSANTARA**

**PEGRI ROHMAT ARIPIN**  
**NRP. 3713100009**

**Dosen Pembimbing:**

**Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.**  
**NIP. 19690906 199702 1001**

**Dr. Ir. Amien Widodo, M.S.**  
**NIP. 19591010 198803 1002**

**DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018**





TUGAS AKHIR - RF141501

**PEMODELAN 3D POTENSI EMAS EPITERMAL *LOW SULFIDATION* MENGGUNAKAN METODE *RESISTIVITY* DAN *TIME DOMAIN INDUCED POLARIZATION* DI BLOK “PGRI”, J-RESOURCES NUSANTARA**

Pegri Rohmat Aripin  
NRP. 0341134000009

Dosen Pembimbing:

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.  
NIP. 19690906 199702 1001

Dr. Ir. Amien Widodo, M.S.  
NIP. 19591010 198803 1002

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018





UNDERGRADUATE THESIS - RF141501

**3D MODELING OF THE GOLD POTENTIAL FOR  
EPITHERMAL LOW SULFIDATION USING RESISTIVITY AND  
TIME DOMAIN INDUCED POLARIZATION METHOD IN  
“PGRI” BLOCK, J-RESOURCES NUSANTARA**

Pegri Rohmat Aripin  
NRP. 0341134000009

Supervisor:

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.  
NIP. 19690906 199702 1001

Dr. Ir. Amien Widodo, M.S.  
NIP. 19591010 198803 1002

DEPARTMENT OF GEOPHYSICAL ENGINEERING  
FACULTY OF CIVIL ENVIRONMENTAL AND GEOSCIENCE  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2018

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**PEMODELAN 3D POTENSI EMAS EPITERMAL LOW SULFIDATION  
MENGUNAKAN METODE RESISTIVITY DAN TIME DOMAIN  
INDUCED POLARIZATION DI BLOK “PGRI”, J-RESOURCES  
NUSANTARA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Prasyarat Mata Kuliah Tugas Akhir pada  
Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 8 Januari 2018

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

  
Dr. Avi Syaeful Bahri, S.Si., M.T. Dr. Ir. Amien Widodo, M.S.  
NIP. 19690906 199702 1 001 NIP. 19591010 198803 1002

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Geofisika Eksplorasi  
Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

  
Dr. Avi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.  
NIP. 19690906 199702 1 001

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Pemodelan 3D Potensi Emas Epitermal Low Sulfidation Menggunakan Metode Resistivity Dan Time Domain Induced Polarization Di Blok “PGRI”, J-Resources Nusantara”** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 8 Januari 2018

Pegri Rohmat Aripin

NRP. 03411340000009

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **PEMODELAN 3D POTENSI EMAS EPITERMAL *LOW SULFIDATION* MENGGUNAKAN METODE *RESISTIVITY* DAN *TIME DOMAIN INDUCED POLARIZATION* DI LAPANGAN “PGRI”, J-RESOURCES**

Nama Mahasiswa : Pegri Rohmat Aripin  
NRP : 0341134000009  
Jurusan : Teknik Geofisika FTSLK-ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.  
NIP. 19690906 199702 1 001  
Dr. Ir. Amien Widodo, M.S.  
NIP. 19591010 198803 1002

## **ABSTRAK**

Emas merupakan mineral sulfida yang terendapkan pada suatu tubuh batuan kuarsa. Batuan kuarsa masif memiliki resistivitas yang tinggi karena kompaksi dan kandungan mineralnya, sehingga pengukuran *resistivity* mampu memberikan citra nilai resistivitas bawah permukaan dengan baik. Namun, nilai resistivitas tinggi belum tentu menunjukkan keberadaan deposit emas sehingga perlu peninjauan kembali data geologi dan metode lain seperti metode *induced polarization* untuk mendukung interpretasi data resistivitas. Metode *Resistivity* merupakan metode yang digunakan untuk memetakan bawah permukaan berdasarkan parameter tahanan jenis semu pada batuan yang mencerminkan adanya perbedaan lapisan batuan. Sedangkan metode *Induced Polarization* merupakan metode yang digunakan untuk memetakan bawah permukaan berdasarkan parameter kapasitansi batuan yang mencerminkan adanya kandungan mineral logam pada batuan tersebut. Kedua metode ini dipilih karena tingkat sensitivitas yang baik dalam memetakan kandungan mineral logam bawah permukaan. Pengukuran metode *Resistivity* dan *Time Domain Induced Polarization* menggunakan konfigurasi dipole-dipole dengan tujuan untuk mengetahui pola penyebaran deposit emas dan pola distribusi zona batuan alterasi disekitarnya berdasarkan parameter nilai resistivitas dan *chargeability*. Hasil analisa menunjukkan bahwa zona mineralisasi emas daerah penelitian ditunjukkan dengan nilai resistivitas 90  $\Omega\text{m}$  – 200  $\Omega\text{m}$  dan *chargeability* 4 msec – 9 msec dengan litologi *Hydrothermal Breccia* yang berasosiasi dengan *Ryodacite Porphyritic*. Pola distribusi mineralisasi emas terbagi menjadi dua kemenerusan zona meneralisasi utama yang memanjang arah utara-selatan.

**Kata kunci:** *Resistivity*, *Chargeability*, Alterasi, Mineralisasi

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **3D MODELING OF THE GOLD POTENTIAL FOR EPITHERMAL LOW SULFIDATION USING RESISTIVITY AND TIME DOMAIN INDUCED POLARIZATION METHOD IN “PGRI” BLOCK, J- RESOURCES NUSANTARA**

Name : Pegri Rohmat Aripin  
NRP : 0341134000009  
Department : Geophysical Engineering FTSLK-ITS  
Supervisor : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.  
NIP. 19690906 199702 1 001  
Dr. Ir. Amien Widodo, M.S.  
NIP. 19591010 198803 1002

## **ABSTRACT**

Gold is a sulphide mineral deposited on a quartz rock body. Massive quartz rocks have high resistivity due to their compaction and mineral content, so resistivity measurements are capable of providing a good image of subsurface resistivity value. However, high resistivity values may not necessarily indicate the presence of gold deposits so it is necessary to review the geological data and other methods such as the induced polarization method to support the interpretation of resistivity data. Resistivity method is a method used to map the subsurface based on apparent resistivity parameters in rocks that reflect the different layers of rocks. While the Induced Polarization method is a method used to map the subsurface based on rock capacitance parameters that reflect the presence of metal mineral content in the rock. Both of these methods were chosen because of their good sensitivity rates in mapping the mineral content of the subsurface metals. Dipole-dipole measurement of Resistivity and Time Domain Induced Polarization method was used to find out the pattern of gold deposit distribution and distribution pattern of adjacent alteration zone based on parameter of resistivity and chargeability value. The results of the analysis show that the gold mineralization zone of the study was shown with a resistivity value of 90  $\Omega\text{m}$  - 200  $\Omega\text{m}$  and a chargeability of 4 msec - 9 msec with Hydrothermal Breccia lithology associated with Ryodacite Porphyritic. The pattern of distribution of gold mineralization is divided into two main mineralization zones extending north-south direction.

**Key Words:** *Resistivity, Chargeability, Alteration, Mineralization*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur saya ucapkan kepada Allah S.W.T. karena atas rahmat dan karunia-Nya laporan Tugas Akhir **“Pemodelan 3D Potensi Emas Epitermal Low Sulfidation Menggunakan Metode Resistivity Dan Time Domain Induced Polarization Di Blok “PGRI”, J-Resources Nusantara”** dapat terselesaikan dengan lancar.

Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dalam mata kuliah Tugas Akhir. Dalam laporan ini dipaparkan metode eksplorasi geofisika yang diaplikasikan dalam bidang pertambangan mineral emas. Banyak metode yang dapat digunakan dalam menunjang kegiatan eksplorasi mineral. Metode eksplorasi geofisika dalam eksplorasi mineral dipilih berdasarkan fokus penulis dalam pembelajaran selama dalam perkuliahan.

Penulisan laporan ini cukup memakan waktu yang tidak sedikit, namun puji syukur telah terselesaikan. Dalam penyelesaiannya tidak lepas dari doa dan dukungan dari keluarga, dosen pembimbing di laboratorium, pembimbing lapangan dan tentunya atas dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penyusunan laporan ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan di dalam laporan Tugas Akhir ini. Karenanya, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sebagai pembelajaran bagi penulis untuk lebih baik lagi. Akhir kata, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 8 Januari 2018

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# DAFTAR ISI

<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan dan Batasan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 Tinjauan Geologi .....	6
2.2.1 Geologi Regional .....	6
2.2.2 Geologi Gorontalo.....	7
2.3 Teori Geologi.....	10
2.3.1 Lingkungan Tektonik .....	10
2.3.2 Proses Epitermal .....	11
2.3.3 Sistem Eipthermal Sulfida Rendah .....	14
2.3.4 Sistem Epitermal Sulfida Tinggi .....	14
2.3.5 Zonasi Alterasi .....	15
2.4 Teori Geofisika .....	17
2.4.1 Metode Resistivitas .....	17
2.4.2 Metode Induced Polarization .....	20
2.4.2.1 Polarisasi membran.....	21
2.4.2.2 Polarisasi elektroda.....	22
2.4.3 Konfigurasi <i>Dipole-dipole</i> .....	25
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Lokasi Penelitian .....	27
3.2 Instrumen Penelitian .....	27
3.3 Desain Akuisisi.....	27
3.4 Diagram Alir .....	28
3.5 Pengolahan Data .....	29
3.5.1 Pengolahan Data Geolistrik.....	29
3.5.1.1 Input Data .....	29
3.5.1.2 Merubah <i>Setting program</i> .....	30
3.5.1.3 Merubah Parameter Inversi.....	31
3.5.1.4 Menampilkan Hasil Inversi.....	32
3.5.2 Pemodelan 3D .....	34
3.5.2.1 Input Data .....	34
3.5.2.2 3D <i>Gridding</i> .....	34
3.5.2.3 <i>Grid Section</i> .....	35

3.5.2.4 Wireframing .....	36
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Data Geologi .....	39
4.2 Data Geofisika.....	40
4.2.1 Penampang 2D.....	40
4.2.2 Penampang 3D.....	53
4.3 Pembahasan.....	55
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran.....	59

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Peta Geologi Sulawesi (Hall and Wilson, 2000) .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Peta Geologi Lembar Tilamuta dan Daerah Pengukuran (Bachri dkk, 1993) .....	10
<b>Gambar 2.3</b>	Skema proses epitermal (Corbett and Leach, 1996) .....	12
<b>Gambar 2.4</b>	Pola Zonasi Alterasi Hidrothermal Dalam Model Cadangan Porpiry Copper Lowell – Guilbert .....	16
<b>Gambar 2.5</b>	Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas $\rho$ (Telford, 1990) .....	19
<b>Gambar 2.6</b>	Pola aliran arus dan bidang ekipotensial antara dua elektroda arus dengan polaritas berlawanan (Telford, 1990) .....	20
<b>Gambar 2.7</b>	Polarisasi membran yang disebabkan karena penyempitan pada butiran mineral (Reynolds, 1997). .....	21
<b>Gambar 2.8</b>	Polarisasi membran pada batuan (a) sebelum dan (b) setelah dialiri arus listrik (Ward, 1990). .....	22
<b>Gambar 2.9</b>	Polarisasi elektroda pada batuan (a) tidak ada mineral logam dan (b) ada mineral logam (Telford, 1990) .....	23
<b>Gambar 2.10</b>	Peristiwa polarisasi elektroda makroskopik pada <i>orebody</i> terdiseminasi (Reynolds, 1997). .....	23
<b>Gambar 2.11</b>	Perbedaan pengukuran IP dalam domain waktu. (a) Perbandingan $V(t)$ dan $V_c$ . (b) Integral $V(t)$ pada selang waktu $t_1$ dan $t_2$ (Telford, 1990) .....	24
<b>Gambar 2.12</b>	Skema konfigurasi dipole-dipole (Telford, 1990) .....	26
<b>Gambar 3.1</b>	Desain akuisisi data dilihat dari ketinggian 500 meter dan disesuaikan dengan kondisi topografi pada masing-masing lintasan. Garis merah menunjukkan lintasan pengukuran sedangkan pin warna kuning menunjukkan titik ujung posisi elektroda reciever. ....	27
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram alir yang dilakukan dalam penelitian .....	28
<b>Gambar 3.3</b>	Input data awal dengan susunan baris 1 sebagai judul, baris 2 sebagai jarak antar elektroda, baris 3 menunjukkan jenis konfigurasi yang digunakan, baris 4 menunjukkan banyaknya data, baris 5 menunjukkan tipe datum, baris 6 menunjukkan tipe survey, baris 7 data sekunder, baris 8 satuan data, baris 9 konstanta	

yang dikeluarkan alat ( <i>reciever</i> ), dan baris 10 secara berurutan menunjukkan lokasi datum, spasi elektroda, urutan ke-n, nilai resistivitas, nilai <i>chargeability</i> .....	30
<b>Gambar 3.4</b> Beberapa pilihan yang terdapat pada menu <i>Change Setting</i> .....	31
<b>Gambar 3.5</b> Beberapa pilihan yang terdapat pada menu <i>Inversion</i> .....	32
<b>Gambar 3.6</b> Menu <i>Display Inversion Result</i> .....	33
<b>Gambar 3.7</b> <i>Section 2D</i> hasil inversi pada lintasan 1 dimana <i>section resistivity</i> ditunjukkan pada bagian atas sedangkan <i>section chargeability</i> ditunjukkan pada bagian bawah. Nilai error yang diperoleh 3.7% sudah sesuai dengan target awal yaitu dibawah 10%. .....	33
<b>Gambar 3.8</b> <i>Geodatabase</i> yang digunakan dalam <i>software</i> Geosoft Oasis Montaj dimana x adalah <i>easting</i> , y adalah <i>northing</i> , z adalah elevasi, Rho adalah nilai resistivitas sebenarnya dan M adalah nilai <i>chargeability</i> sebenarnya. Nilai Rho dan M diperoleh dari export data pada hasil inversi. ....	34
<b>Gambar 3.9</b> Hasil <i>gridding</i> secara 3D nilai resistivitas yang menunjukkan persebaran nilai resistivitas baik secara vertikal maupun horizontal.....	35
<b>Gambar 3.10</b> <i>Grid Section 2D</i> hasil inversi tiap lintasan hasil pemisahan <i>section</i> berdasarkan persebaran nilai resistivitas .....	36
<b>Gambar 3.11</b> Proses <i>picking</i> litologi pada penampang resistivitas yang ditunjukkan pada gambar atas dan hasil <i>geosurface</i> yang menunjukkan persebaran litologi daerah penelitian yang ditunjukkan pada gambar bawah. ....	37
<b>Gambar 4.1</b> Peta geologi permukaan Blok “PGRI” yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan interpretasi <i>section 2D</i> resistivitas dan <i>chargeability</i> . Peta ini diperoleh setelah dilakukan pemetaan langsung di lapangan oleh ahli geologi perusahaan.....	40
<b>Gambar 4.2</b> Interpretasi litologi dan struktur pada penampang <i>resistivity</i> (gambar atas) dan <i>chargeability</i> (gambar bawah) pada lintasan 1. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit.....	41
<b>Gambar 4.3</b> Interpretasi litologi dan struktur pada penampang <i>resistivity</i> (gambar atas) dan <i>chargeability</i> (gambar bawah) pada lintasan 2. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus	

	warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit. ....	42
<b>Gambar 4.4</b>	Interpretasi litologi dan struktur pada penampang <i>resistivity</i> (gambar atas) dan <i>chargeability</i> (gambar bawah) pada lintasan 3. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit. ....	43
<b>Gambar 4.5</b>	Interpretasi litologi dan struktur pada penampang <i>resistivity</i> (gambar atas) dan <i>chargeability</i> (gambar bawah) pada lintasan 4. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit. ....	44
<b>Gambar 4.6</b>	Interpretasi litologi dan struktur pada penampang <i>resistivity</i> (gambar atas) dan <i>chargeability</i> (gambar bawah) pada lintasan 5. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit. ....	46
<b>Gambar 4.7</b>	Interpretasi litologi dan struktur pada penampang <i>resistivity</i> (gambar atas) dan <i>chargeability</i> (gambar bawah) pada lintasan 6. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit. ....	47
<b>Gambar 4.8</b>	Interpretasi litologi dan struktur pada penampang <i>resistivity</i> (gambar atas) dan <i>chargeability</i> (gambar bawah) pada lintasan 7. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit. ....	48
<b>Gambar 4.9</b>	Interpretasi litologi dan struktur pada penampang <i>resistivity</i> (gambar atas) dan <i>chargeability</i> (gambar bawah) pada lintasan 8. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit. ....	49
<b>Gambar 4.10</b>	Interpretasi litologi dan struktur pada penampang <i>resistivity</i> (gambar atas) dan <i>chargeability</i> (gambar bawah) pada lintasan 9. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit. ....	51

- Gambar 4.11** Interpretasi litologi dan struktur pada penampang *resistivity* (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada lintasan 10. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit..... 52
- Gambar 4.12** Penampang 3D dari persebaran nilai resistivitas (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada masing-masing lintasan menentukan litologi target. .... 54
- Gambar 4.13** Penampang 3D model geologi daerah penelitian dengan litologi *clay* ditandai dengan blok warna hijau muda, litologi breksi diatrem ditandai dengan blok warna biru dan riodasit porpiritik ditandai dengan blok warna kuning. Sedangkan bidang struktur ditandai dengan warna coklat. Riodasit diindikasikan sebagai litologi yang keterdapatan deposit mineral emas..... 58

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Tabel klasifikasi endapan epitermal .....	13
<b>Tabel 2.2</b> Karakteristik umum endapan emas epitermal sulfida rendah (Corbett and Leach, 1996) .....	14
<b>Tabel 2.3</b> Pembagian tipe alterasi menurut Corbett dan Leach (1996) .....	16
<b>Tabel 2.4</b> Variasi resistivitas material bumi (Telford, 1990) .....	20
<b>Tabel 2.5</b> Nilai <i>chargeability</i> beberapa batuan dan mineral (Telford, 1990) ...	25
<b>Tabel 4.1</b> Klasifikasi skala nilai resistivitas dan <i>chargeability</i> .....	55
<b>Tabel 4.2</b> Interpretasi profil inversi 2D resistivitas dan <i>chargeability</i> .....	55





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Emas merupakan salah satu bahan galian logam yang bernilai tinggi baik dari sisi harga maupun sisi penggunaan. Dilihat dari kondisi fisik alam, emas sebagai mineral yang terbentuk bersama-sama dengan mineral lain dan sebagai hasil dari proses magmatisme yang kemudian menerobos batuan di atasnya. Jenis mineral endapan emas yang banyak ditemukan di Indonesia sebagian besar berasosiasi pada endapan epitermal, yang merupakan endapan mineral permukaan yang berada di lapisan paling atas (*Low Sulfidation*). Proses transportasi dari dapur magma yang menerobos melalui lapisan porfiri, *High Sulfidation*, dan sampai ke lapisan *Low Sulfidation* merupakan proses penting dimana emas dibawa oleh mineral tertentu dalam zona alterasi. Endapan emas sulfida rendah biasanya memiliki kenampakan dalam bentuk mineral-mineral yang mengisi urat pada kuarsa dengan asosiasi batuan gunung api yang berumur *pratersier* hingga *tersier*. Selain itu juga berasosiasi dengan adanya bentukan struktur geologi baik secara sesar maupun patahan yang menunjukkan adanya potensi cadangan emas dan mineral pembawa. (Widodo, 2004)

Dalam kegiatan eksploitasi suatu mineral berharga perlu dilakukan suatu prediksi pemodelan bawah permukaan sehingga kegiatan eksploitasi mineral tersebut dapat dilakukan lebih efisien. Sebagai eksplorasi pendahuluan, terdapat banyak metode dalam eksplorasi Geofisika yang dapat diaplikasikan dalam hal tersebut. Salah satu metode tersebut adalah pengukuran geolistrik metode *Resistivity* dan *Time Domain Induced Polarization*. Menurut Widodo tahun 2004, emas merupakan mineral sulfida yang terendapkan pada suatu tubuh batuan kuarsa. Batuan kuarsa masif memiliki resistivitas yang tinggi karena kompaksi dan kandungan mineralnya, sehingga diharapkan pengukuran *resistivity* mampu memberikan citra nilai resistivitas bawah permukaan dengan baik. Namun, nilai resistivitas tinggi belum tentu menunjukkan keberadaan deposit emas sehingga perlu peninjauan kembali data geologi dan metode lain seperti metode *induced polarization* untuk mendukung interpretasi data resistivitas. Menurut Telford dkk tahun 1990, metode *Resistivity* adalah metode yang digunakan untuk memetakan bawah permukaan berdasarkan parameter tahanan jenis semu pada batuan yang mencerminkan adanya perbedaan lapisan batuan. Sedangkan metode *Induced Polarization* merupakan metode yang digunakan untuk memetakan bawah permukaan berdasarkan parameter kapasitansi batuan yang mencerminkan adanya kandungan mineral logam pada batuan tersebut. Kedua metode ini dipilih karena tingkat sensitifitas yang baik dalam memetakan kandungan mineral logam bawah permukaan.

Konfigurasi yang digunakan dalam pengukuran ini adalah konfigurasi dipole-dipole. Konfigurasi dipole-dipole memiliki keunggulan untuk mendeteksi adanya besarnya resistivitas dan *chargeability* bawah permukaan. Menurut Loke (1999), metode ini mampu memberikan gambaran bawah permukaan tentang resistivitas dan *chargeability* lebih detail, oleh karena itu tidak hanya memberikan citra distribusi secara vertikal saja tetapi juga dalam bentuk penampang horizontal. Sedangkan kelemahan konfigurasi ini memerlukan banyak tenaga dalam proses pengambilan data, tetapi dapat memberikan informasi secara horizontal yang cukup jauh.

Zona mineralisasi endapan emas biasanya didominasi oleh mineral silika dan mineral sulfida lainnya. Dengan mengetahui pola penyebaran dari nilai resistivitas dan *chargeability* batuan bawah permukaan diharapkan dapat memberikan informasi keberadaan zona mineralisasi yang dicari. Salah satu perusahaan yang melakukan eksplorasi dan pengembangan emas di Indonesia adalah J-Resources Nusantara. Lapangan eksplorasi antara lain di Bolangitang, Sulawesi Utara yang diyakini dengan indikasi urat *quartz-dolomite* dan urat menjalar (*stock-work*) serta matrix silisifikasi dari breksial hidrotermal serta lapangan pengembangan di Pani, Gorontalo, Pulau Sulawesi dengan sistem emas sulfida rendah. Pada penelitian Tugas Akhir ini, penulis membahas tentang pola distribusi zona mineralisasi yang diduga sebagai potensi cadangan emas epitermal *low sulfidation* berdasarkan analisa pola penyebaran nilai resistivitas dan *chargeability* batuan kemudian disajikan dalam model 3D untuk penentuan lokasi pemboran.

## 1.2 Rumusan dan Batasan Masalah

Penelitian ini mengacu pada beberapa masalah yang timbul dari subab latar belakang sebelumnya, rumusan masalahnya adalah belum diketahui distribusi *ore body* secara 3D potensi cadangan emas epitermal *low sulfidation* pada blok “PGRI” di Gorontalo sebagai dasar untuk menentukan lokasi pemboran. Batasan masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Zona target yang diteliti memiliki luas 0.9 km<sup>2</sup> dan pada kedalaman maksimum 100 meter.
2. Metode yang digunakan adalah *Resistivity* dan *Time Domain Induced Polarization*.
3. Penelitian menggunakan data resistivitas dan *chargeability* sebagai data primer, peta geologi regional maupun lokal dan dukungan data geologi hasil pemetaan di lokasi pengukuran sebagai data sekunder.
4. Kajian utama pada penelitian ini adalah memodelkan *ore body* secara 3D beserta estimasi volume dari zona target berdasarkan data resistivitas dan *chargeability*.

### 1.3 Tujuan

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui distribusi *ore body* secara 3D potensi cadangan emas epitermal *low sulfidation* pada blok “PGRI” di Gorontalo berdasarkan korelasi data resistivitas dan *chargeability* dengan pemetaan geologi permukaan sebagai dasar penentuan lokasi pemboran.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini, manfaat yang dapat diperoleh adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui dan memahami aplikasi metode *resistivity* dan *chargeability* dalam identifikasi deposit mineral emas.
2. Mengetahui dan memahami langkah-langkah pemodelan berdasarkan data *resistivity* dan *chargeability*.
3. Mengetahui pola distribusi potensi deposit mineral emas sebagai informasi penting dalam pertambangan.
4. Mengetahui lokasi pemboran (*sampling*) dengan tingkat akurasi target yang baik.
5. Mengetahui metode penambangan yang tepat dalam proses produksi.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan dalam memahami laporan Tugas Akhir ini, dilakukan pengelompokan materi dengan sistematika penulisan sebagai berikut.

1. BAB I : Pendahuluan  
Menjelaskan tentang informasi umum terkait penelitian yang dilakukan antara lain latar belakang penelitian, rumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan laporan akhir.
2. BAB II : Tinjauan Pustaka  
Menjelaskan tentang dasar teori dan tinjauan referensi penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan dalam menunjang ketercapaian tujuan penelitian. Bab ini juga berisikan konsep dasar metode geofisika dan geologi yang digunakan serta penjelasan geologi regional daerah penelitian.
3. BAB III : Metodologi Penelitian  
Menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, seperti proses akuisisi data, alur pengolahan, serta langkah pemodelan dan interpretasi.
4. BAB IV : Analisis Data dan Pembahasan  
Menjelaskan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dan digunakan sebagai dasar penarikan kesimpulan.

5. BAB V : Kesimpulan dan Saran

Berisi poin-poin kesimpulan yang diperoleh setelah dilakukan analisis data dan juga saran yang diberikan sebagai usulan penelitian lebih lanjut untuk memperbaiki dan/atau mendukung hasil penelitian yang telah dilakukan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan cadangan emas epitermal sejak tahap eksplorasi hingga eksploitasi atau produksi. Penelitian tersebut bertujuan untuk mempelajari lebih detil mengenai karakteristik endapan epitermal yang dilakukan oleh peneliti baik dari kalangan mahasiswa untuk kepentingan tesis dan disertasi maupun oleh *Senior Geologist*.

Menurut Muhammad Faeyumi, Tahun 2012, mengenai Sebaran Potensi Emas Epitermal di Areal Eksploitasi PT ANTAM Unit Geomin, Tbk Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor menghasilkan sebaran potensi emas epitermal menyebar mengikuti arah sebaran struktur geologi dimana sebaran potensi tinggi merupakan wilayah pada zona alterasi propilitik yang kaya mineral pembawa endapan emas epitermal dan semakin dekat dengan struktur geologi sesar.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dani Magfiroh tahun 2009 tentang pemodelan data CSAMT 3D pada eksplorasi deposit emas di daerah "X", karakteristik endapan emas terdapat pada batuan dengan nilai resistivitas intermediet (200 - 400 Ohm-meter)

Dika Ariesandra, dkk tahun 2015 tentang karakterisasi cebakan mineral sulfida berdasarkan hasil metode geolistrik resistivitas dan induksi polarisasi daerah jampang kabupaten sukabumi menyatakan :

- Zona Alterasi argilik secara umum memiliki ciri – ciri resistivitas rendah – sedang yang disebabkan oleh adanya mineral lempung berasosiasi dengan IP sedang – tinggi.
- Zona Alterasi propilitik secara umum memiliki ciri – ciri resistivitas tinggi karena adanya mineral klorit berasosiasi dengan IP sedang – tinggi.
- Zona Alterasi silisifikasi secara umum memiliki ciri – ciri resistivitas sedang – tinggi karena keompakkan batuan dan mineral silika berasosiasi dengan IP yang sedang – tinggi

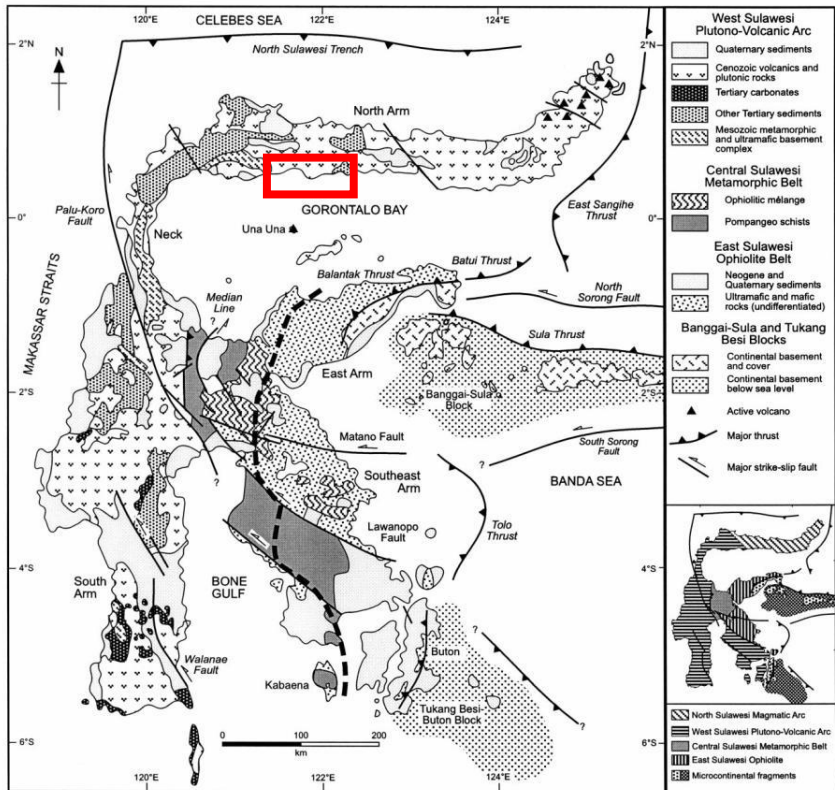
Dan menurut Sitti Muthmainnah dkk, mengenai Identifikasi Zona Mineralisasi Sulfida menggunakan Metode Induksi Polarisasi (IP) dan *Controlled Source Audio-Frequency Magnetotelluric* (CSAMT) Studi Kasus : Arinem-Papandayan, zona mineralisasi sulfida dengan alterasi tipe argilik dan silisifikasi serta batuan asal berupa tuff dengan mineral pengikat silika, kuarsa dan pirit memiliki nilai resistivitas medium-rendah.

## 2.2 Tinjauan Geologi

### 2.2.1 Geologi Regional

Sulawesi atau *celebes* terletak di bagian tengah wilayah kepulauan Indonesia dengan luas wilayah 174.600 km<sup>2</sup>. Sulawesi dan sekitarnya merupakan daerah yang kompleks karena merupakan tempat pertemuan tiga lempeng besar yaitu; lempeng Indo-Australia yang bergerak ke arah utara, lempeng Pasifik yang bergerak ke arah barat dan lempeng Eurasia yang bergerak ke arah selatan-tenggara serta lempeng yang lebih kecil yaitu lempeng Filipina. Proses tumbukan keempat lempeng tersebut menyebabkan Pulau Sulawesi memiliki empat buah lengan dengan proses tektonik yang berbeda-beda membentuk satu kesatuan mosaik geologi. Pulau ini seakan dirobek oleh berbagai sesar seperti; sesar Palu-Koro, sesar Poso, sesar Matano, sesar Lawanopo, sesar Walanae, sesar Gorontalo, sesar Batui, sesar Tolo, sesar Makassar dan lain-lain, dimana berbagai jenis batuan bercampur sehingga posisi stratigrafinya menjadi sangat rumit.

Berdasarkan struktur litotektonik, Sulawesi dan pulau-pulau sekitarnya dibagi menjadi empat, yaitu; Mandala barat (West & North Sulawesi Volcano-Plutonic Arc) sebagai jalur magmatik yang merupakan bagian ujung timur Paparan Sunda, Mandala tengah (Central Sulawesi Metamorphic Belt) berupa batuan malihan yang ditumpangi batuan banchuh sebagai bagian dari blok Australia, Mandala timur (East Sulawesi Ophiolite Belt) berupa ofiolit yang merupakan segmen dari kerak samudera berimbrikasi dan batuan sedimen berumur Trias-Miosen dan yang keempat adalah Fragmen Benua Banggai-Sula-Tukang Besi, kepulauan paling timur dan tenggara Sulawesi yang merupakan pecahan benua yang berpindah ke arah barat karena strike-slip faults dari New Guinea. (Hall and Wilson, 2000)



**Gambar 2.1** Peta Geologi Sulawesi (Hall and Wilson, 2000). Kotak merah menunjukkan lokasi penelitian yang terletak di Kabupaten Boalemo.

### 2.2.2 Geologi Gorontalo

Menurut Bachri dkk tahun 1993, daerah Gorontalo merupakan bagian dari lajur volkano-plutonik Sulawesi Utara yang dikuasai oleh batuan gunung api Eosen - Pliosen dan batuan terobosan. Pembentukan batuan gunung api dan sedimen di daerah penelitian berlangsung relatif menerus sejak Eosen – Miosen Awal sampai Kuarter, dengan lingkungan laut dalam sampai darat, atau merupakan suatu runtunan regresif. Pada batuan gunung api umumnya dijumpai selingan batuan sedimen, dan sebaliknya pada satuan batuan sedimen dijumpai selingan batuan gunung api, sehingga kedua batuan tersebut menunjukkan hubungan superposisi yang jelas. Fasies gunung api Formasi Tinombo diduga merupakan batuan ofiolit, sedangkan batuan gunung api yang lebih muda merupakan batuan busur kepulauan. Geologi umum daerah

Kabupaten Boalemo dan Kabupaten Gorontalo disusun oleh batuan dengan urutan stratigrafi dari tua ke muda sebagai berikut :

- Batuan beku berupa : Gabro, Diorit , granodiorit, granit, dasit dan munzonit kwarsa.
- Batuan piroklastik berupa : lava basalt, lava andesit, tuf, tuf lapili dan breksi gunungapi.
- Batuan sedimen berupa : batupasir wake, batulanau, batupasir hijau dengan sisipan batugamping merah, batugamping klastik dan batugamping terumbu. Endapan Danau, Sungai Tua dan endapan alluvial.

### **1. Batuan Gunungapi Pani (Tppv)**

Batuan Gunungapi Pani terdiri dari dasit, andesit, tuf, dan aglomerat. Lava andesit merupakan penyusun utama di formasi ini. Berstruktur masif, warna abu – abu , bertekstur porfiritik, dengan fenokris terdiri dari feldspar dan kuarsa. Sedang lava andesit berwarna abu – abu dengan tekstur porfiro-afanitik, dan masif. Tuf berwarna abu abu muda , bersusunan dasit dan kompak. Aglomerat berwarna abu – abu dengan komponen andesit dan basal. Batuan ini menindih tak selaras Formasi Randangan. Jadi , umur Batuan Gunungapi Pani diperkirakan berumur Pliosen Awal.

### **2. Breksi Wobudu (Tpwv)**

Breksi wobudu terdiri dari : breksi gunungapi, aglomerat, tuf, tuf lapili, lava andesit dan basalt. Breksi gunungapi berwarna abu – abu, tersusun oleh kepingan batuan andesit dan basal yang berukuran kerikil sampai bongkah. Tuf dan tuf lapili berwarna kuning dan kuning kecoklatan , berbutir halus hingga berukuran kerikil, membulat tanggung, kemas terbuka, terkekarkan, umumnya lunak dan berlapis. Sedangkan lava umumnya berwarna abu – abu hingga abu – abu tua, masif, bertekstur porfiri – afanitik dan bersusunan andesit hingga basal. Posisi stratigrafi menindih takselaras Formasi Dolokapa. Maka umur Breksi Wobudu diperkirakan Pliosen Awal.

### **3. Formasi Lokodidi (TQls)**

Formasi Lokodidi ini terdiri dari perselingan konglomerat, batupasir, batupasir konglomeratan, batupasir tufan, tuf pasir, batulempung, dan serpih hitam. Konglomerat berwarna coklat, tersusun oleh kepingan batugamping, andesit, dan kura susu yang berukuran kerikil hingga kerakal, berbentuk membulat, dengan masadasar tuf, terpilah buruk



dengan kemas tertutup. Batupasir berwarna abu hingga coklat kemerahan, berbutir halus hingga sedang umumnya kompak, merupakan sisipan di antara serpih dan konglomerat. Batupasi tufan dan tuf berwarna putih hingga abu – abu muda , berbutir sedang dan agak kompak. Sedang serpih berwarna hitam , umumnya kurang kompak, gampingan. Formasi ini menindih selaras Breksi Wobudu yang berumur Pliosen Awal sehingga diduga berumur Pliosen Akhir hingga Pliotesn Awal.

#### **4. Batuan Gabro (Teog)**

Gabro dan mikrogabro berwarna abu – abu tua, holokristalin, masif, terperidotkan dan terkloritkan, mengandung hornblenda. Diabas berwarna abu – abu , berbutir sedang, berstruktur diabasik. Satuan batuan ini diterobos oleh Diorit Bumbulan dan Diorit Boliohuto. Diduga Gabro ini terbentuk bersamaan dengan batuan gunungapi yang terdapat dalam Formasi Tinombo sehingga diperkirakan berumur Eosen hingga Oligosen

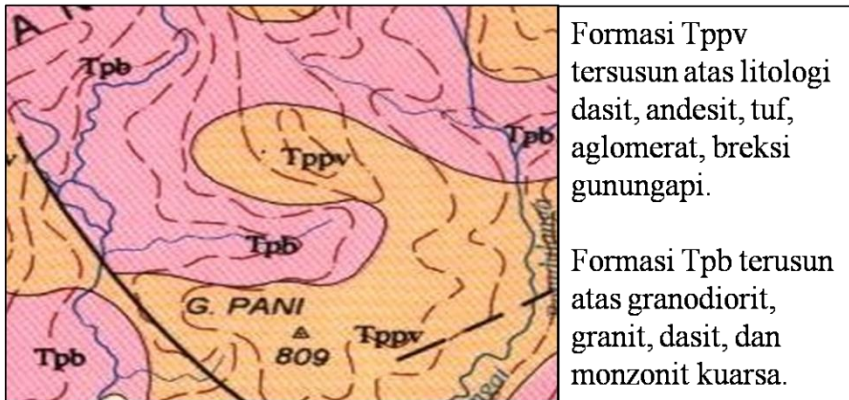
#### **5. Diorit Boliohuto (Tmbo)**

Satuan ini terdiri dari batuan diorit sampai granodiorit yang mengandung kuarsa 20% dengan kandungan feldspar, dan biotit cukup menonjol. Beberapa tempat dijumpai xenolit bersusunan basa. Kemungkinan satuan ini menerobos batuan basa di bawah permukaan. Batuan ini menerobos Formasi Dolokapa. Satuan ini diperkirakan berumur Miosen Tengah hingga Miosen Akhir.

#### **6. Granodiorit Bumbulan (Tpb)**

Satuan ini terdiri dari granodiorit, granit, dasit, dan monzonit kuarsa. Granodiorit berwarna abu – abu , masif, berbutir sedang, mengandung biotit dan piroksen. Granit berwarna abu – abu muda hingga abu – abu berbutir sedang sedikit mengandung mineral mafik jenis biotit, dan umumnya terkekarkan. Sedang dasit berwarna abu – abu muda berbutir halus dengan mineral kuarsa dan feldspar. Monzonit kuarsa berwarna abu – abu , masif, berbutir menengah , dengan penyusun utama berupa kuarsa, plagioklas, dan feldspar alkali. Batuan ini berumur Pliosen.

Struktur geologi yang berkembang di daerah ini terutama sesar mendatar yang berarah utara-selatan, baratdaya-timurlaut dan baratlaut-tenggara. Arah sesar-sesar mendatar tersebut mencerminkan arah gaya utama pembentuk sesar yaitu relatif utara-selatan. Gaya berarah utara-selatan ini searah dengan arah penunjaman Sulawesi Utara yang berlokasi di sebelah utara Pulau Sulawesi, memanjang dari barat (sebelah utara Sulawesi Tengah) sampai ke timur (sebelah utara Sulawesi Utara).



**Gambar 2.2** Peta Geologi Daerah Pengukuran yang merupakan bagian dari peta geologi Lembar Tilamuta dengan formasi Tppv dan formasi Tpb. (Bachri dkk, 1993)

## 2.3 Teori Geologi

### 2.3.1 Lingkungan Tektonik

Sumber endapan bijih epitermal berasal dari sumber yang dangkal yang berasosiasi dengan air meteorik dan atmosfer. Hipotesa tentang asal endapan epitermal secara serius dipertimbangkan oleh Schmitt (1950) berasal dari *lateral secretion*, diferensiasi fluida dari magma, keluar vulkanik dan diserap oleh air tanah, injeksi dalam bentuk lelehan dan pengendapan dari fase gas. Dalam penelitiannya tentang mata air panas menunjukkan bahwa transportasi yang paling utama dari unsur-unsur adalah air meteorik panas. Menurut Craig dan Voughen (1981), emas terbentuk oleh pengendapan larutan hidrotermal serta mengisi sistem rekahan terbuka dan *fracture*. Selain itu juga terbentuk pada tahap melemah (*waning*) dari vulkanisme disebabkan tidak hadirnya ubahan *parent intrusions* dan *extrusive hydrothermal*. Dalam endapan tersier endapan ini merupakan suatu sumber vulkanik untuk *ore-bearing* hidrotermal. Terdapat dua tipe endapan logam mulia terutama yang berasal dari batuan vulkanik tersier, yaitu *acid-sulfate* dan tipe *adularia-sericite* yang keduanya kaya akan emas dan perak.

Menurut Diantoro (2010), emas terbentuk dari proses magmatisme atau pengkonsentrasian di permukaan. Beberapa endapan terbentuk karena proses metasomatisme kontak dan larutan hidrotermal, sedangkan pengkonsentrasian secara mekanis menghasilkan endapan letakan (*placer*). Genesa emas dikategorikan menjadi dua yaitu :

1. Endapan Primer

Pada umumnya emas ditemukan dalam bentuk logam (*native*) yang terdapat di dalam retakan-retakan batuan kuarsa dan dalam bentuk mineral yang terbentuk dari proses magmatisme dan vulkanisme, bergerak berdasarkan adanya panas dalam bumi. Beberapa juga terbentuk karena proses metasomatisme kontak dan larutan hidrotermal.

2. Endapan Letakan (*placer*)

Emas juga dapat ditemukan dalam bentuk emas aluvial yang terbentuk karena proses pelapukan terhadap batuan-batuan yang mengandung emas atau sebagai hasil pergerakan endapan primer. Dimana, pengkonsentrasian secara mekanis menghasilkan endapan ini. Sering kali ditemukan bersamaan dengan mineral silika, perak, platina, pirit, dan lainnya.

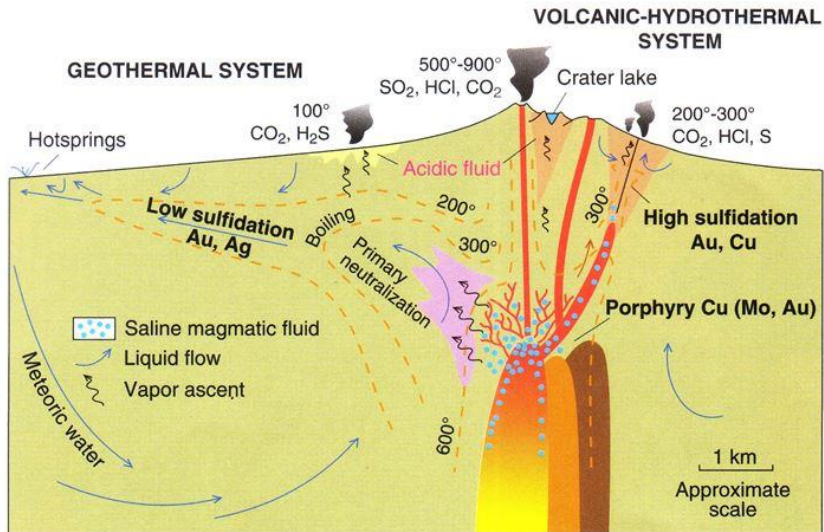
### 2.3.2 Proses Epitermal

Secara lebih detailnya endapan epitermal terbentuk pada kedalaman dangkal hingga 1000 meter dibawah permukaan dengan temperatur relatif rendah (50-200)°C dengan tekanan tidak lebih dari 100 atm dari cairan meteorik dominan yang sedikit asin. (Pirajno, 1992)

Tekstur penggantian (*replacement*) pada mineral tidak menjadi ciri khas karena jarang terjadi. Tekstur yang banyak dijumpai adalah berlapis (*banded*) atau berupa *fissure vein*. Sedangkan struktur khasnya adalah berupa struktur pembungkusan (*cockade structure*). Asosiasi pada endapan ini berupa mineral emas (Au) dan perak (Ag) dengan mineral penyertanya berupa mineral kalsit, mineral zeolit dan mineral kuarsa. Dua tipe utama dari endapan ini adalah *low sulphidation* dan *high sulphidation* yang dibedakan terutama berdasarkan pada sifat kimia fluidanya dan berdasarkan pada alterasi dan mineraloginya.

Endapan epithermal umumnya ditemukan sebagai sebuah *pipe* seperti zona dimana batuan mengalami breksiasi dan teralterasi atau berubah tingkat tinggi. Veins juga ditemukan, khususnya sepanjang zona patahan., namun mineralisasi vein mempunyai tipe tidak menerus (*discontinuous*).

Pada daerah vulkanik, sistem epitermal sangat umum ditemui dan seringkali mencapai permukaan, terutama ketika fluida hidrotermal muncul (*erupt*) sebagai geyser dan fumaroles. Banyak endapan mineral epitermal tua menampilkan fosil '*roots*' dari sistem fumaroles kuno. Karena mineral - mineral tersebut berada dekat permukaan, proses erosi sering mencabutnya secara cepat, hal inilah mengapa endapan mineral epitermal tua relatif tidak umum secara global. Kebanyakan dari endapan mineral epitermal berumur Mesozoic atau lebih muda.



**Gambar 2.3** Skema proses epitermal (Corbett and Leach, 1996)

Mineralisasi epitermal memiliki sejumlah fitur umum seperti hadirnya kalsedonik quartz, kalsit, dan breksi hidrotermal. Selain itu, asosiasi elemen juga merupakan salah satu ciri dari endapan epitermal, yaitu dengan elemen bijih seperti Au, Ag, As, Sb, Hg, Tl, Te, Pb, Zn, dan Cu. Tekstur bijih yang dihasilkan oleh endapan epitermal termasuk tipe pengisian ruang terbuka (karakteristik dari lingkungan yang bertekanan rendah), krustifikasi, colloform banding dan struktur sisir. Endapan yang terbentuk dekat permukaan sekitar 1,5 km dibawah permukaan ini juga memiliki tipe berupa tipe *vein*, *stockwork* dan *diseminasi*

Ransome (1907) menemukan dari pengamatan yang dijumpai pada endapan-endapan di sekitar kolam air panas dan fumarol pada gunung api, dimana dia menyimpulkan bahwa endapan yang terbentuk pada kondisi reduksi dengan pH air netral disebut sebagai pembawa endapan-endapan sulfidasi rendah sedangkan kondisi asam dan teroksidasi disebut sebagai pembawa endapan-endapan sulfidasi tinggi. Terdapat asosiasi mineral-mineral tertentu yang dapat digunakan sebagai penciri tipe-tipe endapan sulfidasinya. Endapan sulfidasi rendah dicirikan oleh adanya asosiasi mineral-mineral sulfida seperti pirit-pirorit-arsenopirit-sfalerit (kaya akan Fe) sedangkan sulfidasi tinggi dicirikan oleh asosiasi mineral-mineral enargite-luzonit-kovelit-kelimpahan mineral pirit. White dan Hedenquist (1995), mengklasifikasikan kedua jenis endapan tersebut sebagai berikut :

**Tabel 2.1** Tabel klasifikasi endapan epitermal

No.	Karakteristik	Sulfidasi Rendah	Sulfidasi Tinggi
1.	Tempat terbentuknya	Daerah busur-vulkanik kalk-alkali-alkali (jenis tholeiitik jarang)	Daerah busur-vulkanik kalk-alkali
		Lingkungan Subaerial	Umumnya lingkungan Subaerial dan jarang pada <i>submarine</i>
		Umumnya terjadi pada <i>setting</i> vulkanik distal-intermediet	Pada <i>setting</i> vulkanik proksimal
		Batuan vulkanik atau <i>basement</i>	Batuan vulkanik dan jarang pada <i>basement</i>
2.	Pembentukan deposit	Dominan disusun oleh urat-urat pengisi rekahan-rekahan ( <i>open space</i> )	Urat-uratyang terletak lebih rendah hadir secara lokal
		Endapan bijih umumnya dijumpai dengan struktur <i>stockwork</i>	Endapan bijih dengan struktur <i>stockwork</i> dalam jumlah minor
		<i>Minor disseminated ore</i>	<i>Disseminated ore</i> hadir secara dominan
		Minor mineral-mineral bijih pengganti ( <i>replacements ore</i> ) dalam jumlah minor	Mineral-mineral bijih pengganti ( <i>replacements ore</i> ) umum dijumpai
3.	Tekstur urat	Urat berlapis	<i>Vuggy quartz</i>
		<i>Breccia vein</i>	Kuarsa masif
		<i>Drussy cavities</i>	Urat sulfida masif
		Krustifikasi	Urat dengan lapisan-lapisan kasar
		Tekstur <i>Lattice</i>	
4.	Alterasi hidrotermal		
	Berasosiasi dengan mineral bijih	Mendekati pH netral	pH asam (pH<1 sampai pH>3)
	Kumpulan mineral alterasi	Illit (serisit), <i>interstratified clays</i> (ilit-smektit)	Alunite, kaolin, pirofilit,diaspor
	Zona	Zona bertemperatur tinggi menuju rendah	Zona pH asam menuju pH netral

### 2.3.3 Sistem Epitermal Sulfida Rendah

Karakteristik sistem endapan epitermal tipe sulfidasi rendah menempati host rock batuan vulkanik yang bersifat asam sampai menengah. Kontrol struktur berupa sesar atau zona rekahan yang tertutup oleh batuan vulkanik. Kedalaman zona endapan atau formasi batuan sekitar 0-1000 meter dengan temperatur formasi 50°C-300°C. Karakter fluida yang mengontrol bersifat salinitas rendah, pH mendekati netral, kandungan sulfida dan mineral logam dasar (*base metal*) rendah.

**Tabel 2.2** Karakteristik umum endapan emas epitermal sulfida rendah (Corbett and Leach, 1996)

	Sulfidasi Rendah (Adularia-Serisit)
Bentuk Endapan	Didominasi oleh urat hasil bukaan, <i>stockworks</i> , penggantian bijih kecil
Tekstur	<i>Veins, cavity filling, (bands, colloform, druses), breccias</i>
Mineral Bijih	Pirit, emas, sfalerit, galena (arsenopirit)
Logam	An, Ag, Zn, Pb (Cu, Sb, As, Hg, Se)

Sistem epitermal sulfidasi rendah zona alterasi potasik dan filik tidak ditemukan. Zona alterasi yang umum dijumpai pada epitermal sulfidasi rendah adalah sebagai berikut: silisifikasi, ini banyak terdapat bersama mineral bijih sebagai generasi multiple dari kuarsa dan kalsedon yang umumnya disertai dengan adularia dan kalsit. Silisifikasi dalam urat biasanya diapit oleh serisit-illit-kaolinit. Alterasi argilik (kaolinit-illit-monmorillonit-smektit) biasanya terbentuk berdampingan dengan urat. Alterasi argilik lanjut (kaolinit-alunit) ini dapat terbentuk disepanjang bagian atas zona mineralisasi. Alterasi propilitik dijumpai pada bagian yang lebih dalam dan menjauhi vein.

Deposit emas epitermal sulfidasi rendah terbentuk dari larutan hidrotermal yang naik melalui zona rekah dan bereaksi dengan batuan sampling dan air meteorik sehingga pH nya terus berkurang hingga mendekati netral. Sistem epitermal sulfidasi rendah ini dicirikan oleh sulfur yang berkurang dan membentuk H<sub>2</sub>S. Tatanan tektonik dari epitermal sulfidasi rendah umumnya terdapat pada volcanic island, busur magmatik pada batas lempeng dan continental volcanic dengan regime struktur extensional dan strike-slip. (Corbett dan Leach, 1996)

### 2.3.4 Sistem Epitermal Sulfida Tinggi

Endapan epitermal sulfidasi tinggi dicirikan dengan batuan induk berupa batuan vulkanik bersifat asam hingga intermediet dengan kontrol struktur berupa sesar secara regional atau intrusi subvulkanik, kedalaman formasi batuan sekitar 500 – 2000 meter dan temperatur (100 – 3200) °C.

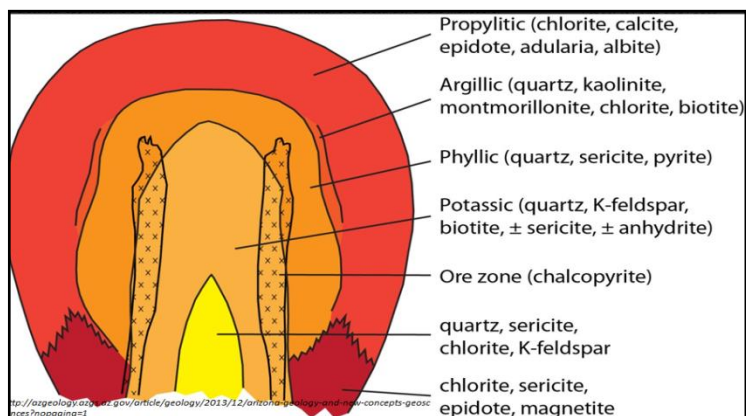
Endapan ini terbentuk oleh sistem dari fluida hidrotermal yang berasal dari intrusi magmatik yang cukup dalam, fluida ini bergerak secara vertikal dan horizontal menembus rekahan-rekahan pada batuan dengan suhu yang relatif tinggi (200 – 300) °C, fluida ini didominasi oleh fluida magmatik dengan kandungan acidic yang tinggi yaitu berupa HCl, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S. (Pirajno, 1992)

Endapan ini terbentuk dari reaksi batuan induk dengan fluida asam yang panas, menghasilkan suatu karakteristik zona alterasi yang membentuk endapan Au, Cu, Ag. Sistem bijih menunjukkan kontrol permeabilitas yang tergantung oleh faktor litologi, struktur, alterasi batuan sampling, mineralogi bijih dan kedalaman formasi. Sulfidasi tinggi berhubungan dengan pH asam, timbul dari bercampurnya fluida yang mendekati pH asam dengan larutan sisa magma yang encer sebagai hasil diferensiasi magma, di kedalaman dekat tipe endapan porfiri dan dicirikan oleh jenis sulfur yang dioksidasi menjadi SO<sub>2</sub>.

### **2.3.5 Zonasi Alterasi**

Menurut Corbett dan Leach (1996), alterasi dapat diartikan sebagai perubahan yang terjadi pada suatu batuan dan mineral penyusunnya, baik terjadi perubahan sifat kimia maupun sifat fisiknya dimana yang disebabkan oleh larutan hidrothermal, proses kimiawi dan proses geologi. Ada 6 faktor yang berpengaruh terhadap pembentukan mineral ubahan sebagai berikut :

1. Temperatur. Kenaikan temperatur akan berdampak pada dehidrasi mineral dan tingkat kristalinitas
2. Kimia Fluida. Komposisi kimia (kandungan ion-ion) dalam larutan.
3. Konsentrasi. Berdampak pada tingkat saturasi fluida dalam kaitannya dengan mineral tertentu.
4. Komposisi batuan sampling (*host rock*).
5. Durasi aktifitas atau tingkat kesetimbangan



**Gambar 2.4** Pola Zonasi Alterasi Hidrotermal Dalam Model Cadangan Porpiry Copper Lowell – Guilbert

**Tabel 2.3** Pembagian tipe alterasi menurut Corbett dan Leach (1996)

Tipe	Mineral Penciri	Mineral Aksesoris	Keterangan
Advanced Argilik (temperatur rendah)	Kaolinit, alunit, dan kalsedon	Kalsedon, kristobalit, kuarsa, pirit	< 180 ° C ; pH asam
Argilik	Smektit, ilit-smektit, montmorilonit, dan kaolinit	Pirit, klorit, kalsit, kuarsa	200 – 300 ° C ; salinitas rendah ; pH asam hingga netral
Advanced Argilik (temperatur tinggi)	Pirofilit, diosfor, dan karbonat	Kuarsa, tumalin, energit, luzonit	250 – 350 ° C; pH asam
Propilitik	Klorit, epidot, dan karbonat	Albit, kuarsa, kalsit, pirit, ilit, atau lempung, oksida besi	100 – 250 °C; salinitas beragam; pH mendekati netral; daerah dengan permeabilitas rendah
Filik	Kuarsa, serisit, dan pirit	Anhidrit, pirit, kalsit	230 – 400 °C; salinitas beragam; pH asam hingga netral; zona permeabel pada batas urat
Potasik	Biotit dan kuarsa	Klorit, epidot, pirit, ilit-serisit	>300 °C; salinitas tinggi; dekat batuan intrusi
Skarn	Garnet, piroksen, amfibol, epidot dan magnetit	Wolastonit, klorit, biotit	300 – 700 °C; salinitas tinggi; umum pada batuan samping karbonat



## 2.4 Teori Geofisika

### 2.4.1 Metode Resistivitas

Metode pengamatan geofisika pada dasarnya adalah mengamati gejala-gejala gangguan yang terjadi pada keadaan normal. Gangguan ini dapat bersifat statik dapat juga bersifat dinamik, yaitu gangguan yang dipancarkan ke bawah permukaan bumi. Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu metode yang paling umum digunakan dalam eksplorasi geolistrik. Metode ini digunakan untuk menggambarkan keadaan bawah permukaan dengan mempelajari resistivitas listrik dari lapisan batuan di dalam bumi, dimana bumi tersusun atas batuan yang memiliki daya hantar listrik yang berbeda-beda. Pada metode ini, arus listrik dialirkan ke dalam lapisan bumi melalui dua buah elektroda potensial. Dengan diketahuinya harga arus potensialnya maka bisa ditentukan nilai resistivitasnya. Menurut Loke (1995), data yang diperoleh di lapangan merupakan data nilai resistivitas bawah permukaan.

Pada dasarnya metode geofisika digunakan untuk mengetahui perubahan resistivitas lapisan batuan di bawah permukaan tanah dengan cara mengalirkan arus listrik DC (Direct Current) yang dialirkan ke bawah permukaan tanah melalui kontak dua elektroda arus, kemudian distribusi potensial yang dihasilkan diukur melalui dua elektroda potensial. Setelah besar arus dan besar potensial yang dihasilkan terukur, maka resistivitas bawah permukaan dapat dihitung. Untuk mengetahui struktur bawah permukaan lebih dalam, maka spasi masing-masing elektroda arus dan elektroda potensial ditambah secara bertahap. Semakin besar spasi elektroda maka efek penembusan arus ke bawah semakin dalam. Hubungan antara rapat arus dan intensitas medan listrik dengan Hukum Ohm adalah sebagai berikut:

$$J = \sigma \cdot E \quad (2.1)$$

Dimana,

$$J = \frac{I}{A} = \text{Rapat arus}$$

$$\sigma = \text{Konduktivitas medium}$$

$$E = \frac{V}{L} = \text{Induktansi meda}$$

Berdasarkan persamaan diatas diperoleh suatu persamaan umum untuk menentukan rewsistivitas suatu medium homogen, yakni

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = R \frac{A}{L} \quad (2.2)$$

Dimana,

$$\rho = \text{Resistivitas mineral } (\Omega\text{m})$$

$$L = \text{Panjang (m)}$$

$$R = \text{Tahanan yang diukur } (\Omega)$$

$$A = \text{Luas penampang (m}^2\text{)}$$

Karena  $R = \frac{\Delta V}{I}$ , maka diperoleh

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \frac{A}{L} \quad (2.3)$$

Dimana,

$\Delta V$  = Beda potensial

$I$  = Kuat arus yang dilalui bahan ( Ampere)

Apabila terdapat elektroda arus  $C_1$  yang terletak pada permukaan suatu medium homogen, terangkai dengan elektroda arus  $C_2$  dan diantaranya ada dua elektroda potensial  $P_1$  dan  $P_2$  yang dibuat dengan jarak tertentu seperti pada (gambar 2.5), maka potensial yang berada di dekat titik elektroda tersebut bisa dipengaruhi oleh kedua elektroda arus. Oleh karena itu potensial  $P_1$  yang disebabkan arus di  $C_1$  adalah:

$$V_1 = - \frac{A_1}{r_1} \quad (2.4)$$

Dimana,

$$A_1 = - \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.5)$$

Karena arus pada kedua elektroda adalah sama dan arahnya berlawanan, maka :

$$V_2 = - \frac{A_2}{r_2} \quad (2.6)$$

$$A_2 = -A_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.7)$$

Jika didapatkan potensial total di  $P_1$  dan  $P_2$  maka :

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.8)$$

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.9)$$

Sehingga dapat diperoleh beda potensial antara  $P_1$  dan  $P_2$  yaitu

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.10)$$

Dimana,

$\Delta V$  = beda potensial  $P_1$  dan  $P_2$

$\rho$  = Resistivitas ( $\Omega m$ )

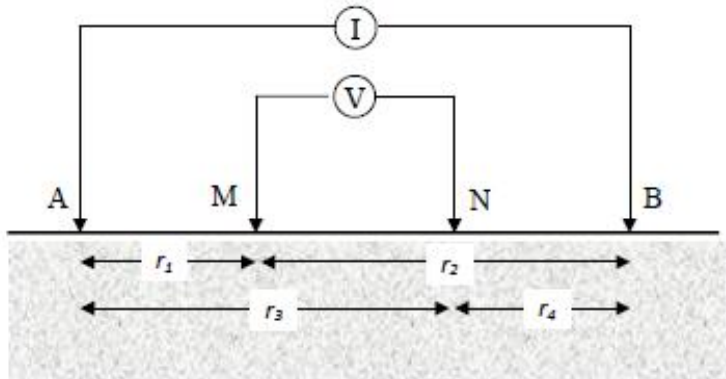
$I$  = arus (A)

$r_1$  = jarak  $C_1$  ke  $P_1$  (m)

$r_2$  = jarak  $C_2$  ke  $P_1$  (m)

$r_3$  = jarak  $C_1$  ke  $P_2$  (m)

$r_4$  = jarak  $C_2$  ke  $P_2$  (m)



**Gambar 2.5** Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas  $\rho$  (Telford, 1990)

Susunan keempat elektroda tersebut merupakan susunan elektroda yang biasanya dalam metode geolistrik resistivitas. Pada konfigurasi ini garis-garis aliran arus dan ekipotensial diubah oleh dekatnya kedua elektroda arus. Perubahan dari garis-garis ekipotensial yang melingkar lebih jelas pada daerah antara dua elektroda arus sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.5.

Metode geolistrik resistivitas didasarkan pada anggapan bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, resistivitas yang terukur merupakan resistivitas yang sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Namun pada kenyataannya bumi tersusun atas lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Karenanya harga resistivitas yang terukur seolah-olah merupakan nilai resistivitas untuk satu lapisan saja. Sehingga resistivitas yang terukur adalah resistivitas semu.

Berdasarkan persamaan (2.10) besar resistivitas semu dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.11)$$

Dimana,

$$K = \frac{2\pi}{\left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}} \quad (2.12)$$

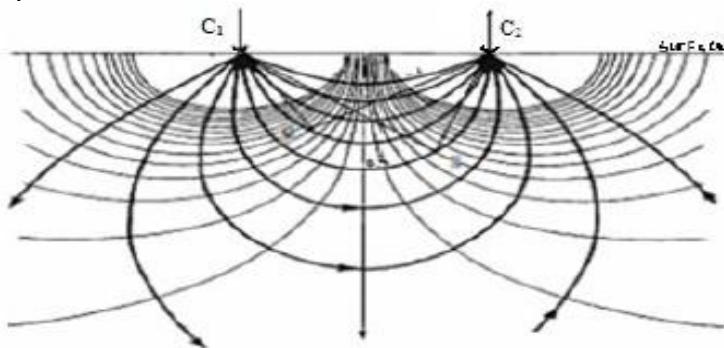
Diengan  $K$  adalah faktor geometri yaitu besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus. Dengan mengukur  $\Delta V$  dan  $I$  maka harga  $\rho_a$  dapat ditentukan.

**Tabel 2.4** Variasi resistivitas material bumi (Telford, 1990)

Material	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )
Udara	$\sim$
Pirit	$0.01 - 10^2$
Kalkosit	$3 \times 10^{-3} - 0.6$
Kalkopirit	$1.2 \times 10^{-5} - 0.3$
Kuarsa	$5 \times 10^2 - 8 \times 10^5$
Kalsit	$10^{12} - 10^{13}$
Granit	$2 \times 10^2 - 10^5$
Andesit	$1.7 \times 10^2 - 45 \times 10^{14}$
Basalt	$2 \times 10^2 - 10^5$
Limestone	$20 - 99$
Sandstone	$2 \times 10^2 - 8 \times 10^3$
Dolomite	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
Argilites	$10 - 8 \times 10^2$
Shales	$20 - 2 \times 10^3$
Pasir	$1 - 10^3$
Lempung	$1 - 10^2$
Air Tanah	$0.5 - 3 \times 10^2$
Air Asin	$0.2$
Magnetit	$0.01 - 10^3$
Alluvium	$10 - 8 \times 10^2$

### 2.4.2 Metode Induced Polarization

Metode pengamatan geofisika pada dasarnya adalah mengamati gejala-gejala gangguan yang terjadi pada keadaan normal. Gangguan ini dapat bersifat statik dapat juga bersifat dinamik, yaitu gangguan yang dipancarkan ke bawah permukaan bumi.

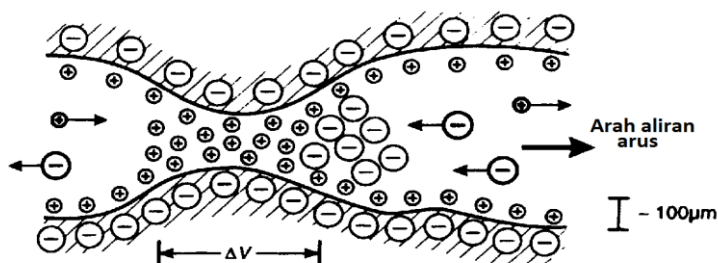


**Gambar 2.6** Pola aliran arus dan bidang ekipotensial antara dua elektroda arus dengan polaritas berlawanan (Telford, 1990)

Metode IP adalah salah satu metode dalam Geofisika yang memanfaatkan sifat kelistrikan medium. Prinsip metode IP adalah mengalirkan arus listrik kedalam bumi dan mengamati beda potensial yang terjadi setelah arus listrik dihentikan (Dewi et al, 2017). Metode IP mengukur efek polarisasi di dalam medium karena pengaruh arus listrik yang melewatinya. Sama dengan Geolistrik, metode ini menggunakan empat elektroda. Arus searah diinjeksikan melalui dua elektroda arus dan beda potensial diukur pada dua elektroda potensial, kemudian arus diputus. Potensial seharusnya akan langsung nol, tetapi dalam kenyataan potensial akan menuju nol untuk selang waktu tertentu. Potensial inilah yang disebut *potential decay*. Potensial ini disebabkan karena adanya polarisasi didalam medium bawah permukaan (Telford, 1990). Penyebab pasti polarisasi pada medium masih belum begitu jelas. Dua mekanisme proses elektrokimia yang dapat dipahami sebagai penyebab, yaitu polarisasi membran dan elektroda (Reynolds, 1997).

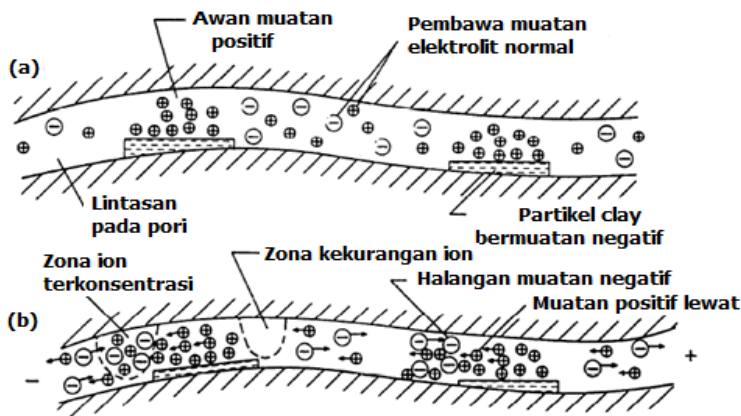
#### 2.4.2.1 Polarisasi membran

Polarisasi membran disebabkan karena dua hal. Pertama, polarisasi ini muncul karena adanya perbedaan mobilitas pembawa muatan (ion) dalam batuan.



**Gambar 2.7** Polarisasi membran yang disebabkan karena penyempitan pada butiran mineral (Reynolds, 1997).

Konduksi elektrolitik merupakan faktor yang paling dominan terjadi pada setiap batuan, Konduksi elektrolitik merupakan satu-satunya bentuk konduksi ketika tidak terdapat mineral logam. Struktur batuan berpori menyebabkan arus mengalir, walaupun tidak ada mineral logam. Sebagian besar batuan memiliki muatan negatif pada batas kontak antara permukaan batuan dan fluida di pori-pori. Ion-ion bermuatan positif pada fluida tertarik dan terkonsentrasi pada zona negatif dan ion-ion negatif akan tertolak. Ion-ion negatif ini terakumulasi pada ujung zona, ketika potensial DC diterapkan (Gambar 2.7). Hasil distribusi polarisasi ion-ion mengakibatkan aliran arus terhambat, ketika arus diputus ion-ion membutuhkan waktu untuk kembali keposisi semula (Telford, dkk., 1990).

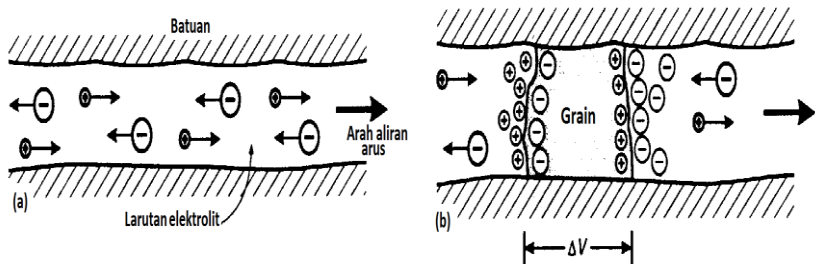


**Gambar 2.8** Polarisasi membran pada batuan (a) sebelum dan (b) setelah dialiri arus listrik (Ward, 1990).

Penyebab kedua adalah karena hadirnya mineral lempung yang bermuatan negatif. Muatan positif yang timbul disekeliling lempung membentuk awan positif dalam ruang pori (Gambar 2.8). Ketika potensial dipasang maka muatan positif dapat bergerak pada awan muatan positif, sedangkan muatan negatif terkumpul sehingga menghasilkan konsentrasi ionik yang berbeda. Jika potensial dihilangkan maka ion-ion akan kembali dalam keadaan semula dengan proses difusi dan menyebabkan terukurnya respon IP.

#### 2.4.2.2 Polarisasi elektroda

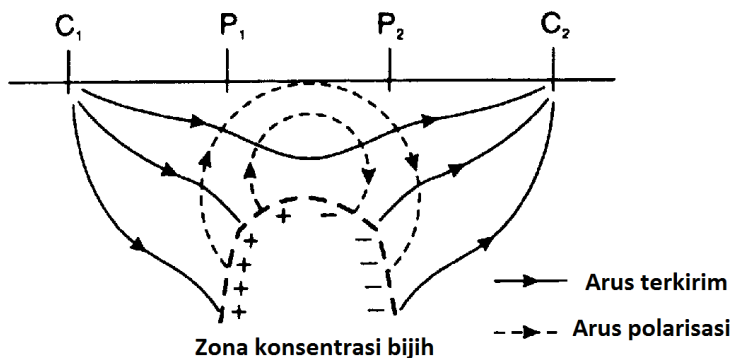
Efek ini disebabkan oleh mineral logam yang ada dalam batuan dan merupakan penyumbang terbesar hasil ukur metode IP. Adanya mineral logam dalam batuan yang mengandung pori berisi cairan dapat dipandang sebagai satu elektroda yang berada dalam larutan elektrolit. Mula-mula terjadi proses oksidasi dan reduksi, sehingga timbul beda potensial antara logam dan muatan disebut potensial Nernst. Dalam keadaan ini sama sekali tidak terjadi arus. Apabila arus dimasukkan atau dilewatkan maka akan timbul peristiwa elektrolisis pengutuban muatan, dimana ion negatif menuju ke logam. Kecepatan aliran arus pada larutan elektrolitik lebih rendah dari pada dalam logam. Saling terikatnya ion-ion pada logam karena adanya tegangan luar waktu dialirkan arus, disebut potensial tak reversibel. Pada saat arus diputus, maka ion-ion tersebut akan kembali pada keadaan semula dengan cara difusi. Kembalinya ion-ion pada keadaan semula ini yang menyebabkan terukurnya respon IP. (Telford, 1990)



**Gambar 2.9** Polarisasi elektroda pada batuan (a) tidak ada mineral logam dan (b) ada mineral logam (Telford, 1990)

Kondisi dalam (*subsurface*), arus mengkonduksi massa batuan dengan Bergeraknya ion-ion pada air tanah melalui pori yang terhubung atau melalui rekahan dalam batuan. Jika pada massa batuan terdapat butiran mineral konduktif (misalnya sulfida logam) maka pada butiran tersebut akan terpolarisasi dan menimbulkan potensial pada permukaannya (Gambar 2.9).

Jika potensial diputus maka ion-ion akan berdifusi kembali melalui medium elektrolit dan potensial pada butiran kembali ke nol pada selang waktu tertentu. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya *overvoltage* atau *potential decay* pada pengukuran domain waktu. Polarisasi elektroda secara esensi adalah fenomena permukaan dan hal inilah yang menyebabkan mineral yang terdiseminasi menghasilkan respon IP yang cukup signifikan.



**Gambar 2.10** Peristiwa polarisasi elektroda makroskopik pada *orebody* terdiseminasi (Reynolds, 1997).

Ketika butiran mineral konduktif yang secara individu menimbulkan efek polarisasi terkumpul, maka terjadi zona terkonsentrasi yang juga terpolarisasi. Hal ini menyebabkan terjadinya polarisasi makroskopik (Gambar

2.8). Arus polarisasi transien muncul apabila arus yang dikirim dimatikan. Arus listrik sekunder bawah permukaan ini diukur sebagai respon TDIP di permukaan. Respon TDIP diukur dipermukaan memakai konfigurasi elektroda Dipole-dipole, Wenner atau yang lainnya. Arus dialam lebih komplek. Faktor utama yang berpengaruh adalah arus primer yang dikirim dan kembalinya ion-ion pada keadaan semula. Faktor lain yang juga berpengaruh adalah bentuk dan ukuran pori, strukur batuan, permeabilitas, konduktivitas elektrolit konsentrasi ion-ion dan konduktivitas butiran mineral (Reynolds, 1997).

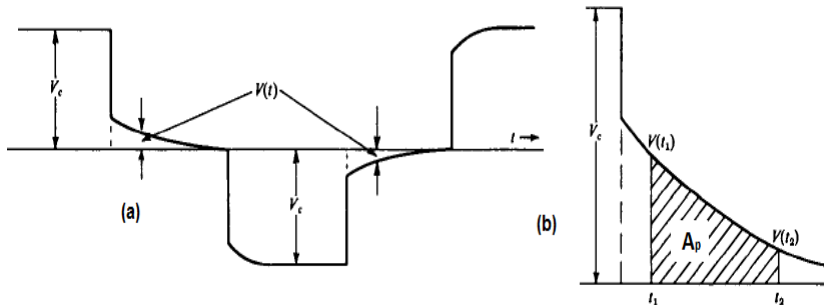
Pengukuran efek polarisasi terinduksi dalam kawasan waktu ada dua cara. Pertama, membandingkan potensial residual  $V(t)$  yang tersisa pada waktu  $(t)$  setelah arus diputus dan potensial yang terukur selama arus mengalir ( $V_c$ ). Perbandingan ini disebut persen-IP atau %IP. Saat sumber arus diputus akan terjadi penurunan beda potensial pada kedua elektroda potensial. Nilai beda potensial saat tidak adanya arus yang mengalir dicatat sebagai beda potensial sekunder dalam fungsi waktu (Telford, 1990), seperti yang ditunjukkan pada Gambar (2.11a). Nilai  $V(t)$  jauh lebih kecil dari  $V_c$  dan satuan dari %IP adalah (mV/V).

$$\%IP = \frac{V(t)}{V_c} \quad (2.12)$$

Cara kedua dengan pengintegralan *potential decay* pada beda potensial sebelum arus dimatikan, dalam interval waktu tertentu (Telford, dkk., 1990, Reynolds, 1997). Satuan *chargeability* ( $m$ ) msec dan bentuk persamaan sebagai berikut:

$$m = \frac{1}{V_c} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt = \frac{A_p}{V_p} \quad (2.13)$$

Dimana  $A_p$  adalah luasan yang diarsir pada Gambar (2.11b) dan  $V_c$  adalah tegangan primer,  $t_1$  dan  $t_2$  adalah waktu batas integral.



**Gambar 2.11** Perbedaan pengukuran IP dalam domain waktu. (a) Perbandingan  $V(t)$  dan  $V_c$ . (b) Integral  $V(t)$  pada selang waktu  $t_1$  dan  $t_2$  (Telford, 1990)



Tahanan jenis dan *chargeability* adalah dua parameter fisis yang tidak saling mempengaruhi. Namun demikian Siegel (1959) menggunakan model beberapa lapisan untuk menghubungkan keduanya. Hubungan antara *chargeability* semu dan tahanan jenis lapisan dirumuskan sebagai berikut:

$$m_a = \sum_{i=1}^N m_i \frac{\partial \log \rho_a}{\partial \log \rho_i} \quad (2.14)$$

Dimana  $m_a, \rho_a$  masing-masing adalah *chargeability* semu dan tahanan jenis semu.  $m_i$  dan  $\rho_i$  adalah *chargeability* dan tahanan jenis pada masing-masing pembentuk keheterogenan.  $i=1$  sampai  $N$ , jika ada 3 lapisan dibawah permukaan maka  $N=3$  dan seterusnya. Bawah permukaan yang terdiri dari dua medium, maka besarnya *chargeability* semu dipermukaan adalah.

$$m_a = m_1 \frac{\partial \log \rho_a}{\partial \log \rho_1} + m_2 \frac{\partial \log \rho_a}{\partial \log \rho_2} = m_1 + (m_2 - m_1) \frac{\partial \log \rho_a}{\partial \log \rho_2} \quad (2.15)$$

Dimana  $\rho_1, \rho_2$  masing-masing tahanan jenis medium pertama dan kedua yang tergantung dari konfigurasi elektroda, sedangkan  $m_1$  dan  $m_2$  adalah *chargeability* medium pertama dan kedua.

**Table 2.5** Nilai *chargeability* beberapa batuan dan mineral (Telford, 1990)

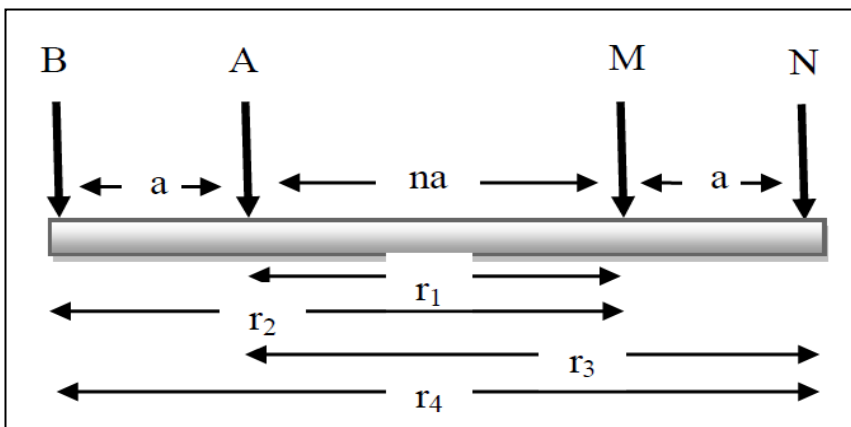
Material	Chargeability (msec)
20% sulfides	2000 – 3000
8-20% sulfides	1000 – 2000
2-8% sulfides	500 – 1000
Volcanic tuffs	300 – 800
Sandstone, siltstone	100 – 500
Dense volcanic rocks	100 – 500
Shale	50 – 100
Granite, granodiorite	10 – 50
Limestone, dolomite	10 – 20

### 2.4.3 Konfigurasi Dipole-dipole

Metode pengukuran resistivitas pada konfigurasi Dipole-dipole, dilakukan dengan kedua elektroda arus dan elektroda potensial terpisah dengan jarak  $a$ . Elektroda arus dan elektroda potensial pada bagian dalam system konfigurasi terpisah sejauh  $na$ , dengan  $n$  adalah bilangan bulat. Dengan faktor geometri sama dengan

$$k = \pi n(n + 1)(n + 2)a \quad (2.16)$$

Kelemahan konfigurasi ini memerlukan banyak tenaga dalam proses pengambilan data, tetapi dapat memberikan informasi secara horizontal yang cukup jauh. Skema posisi elektroda pada konfigurasi dipole-dipole dapat dilihat pada gambar berikut ini:



**Gambar 2.12** Skema konfigurasi dipole-dipole (Telford, 1990)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Lokasi Penelitian

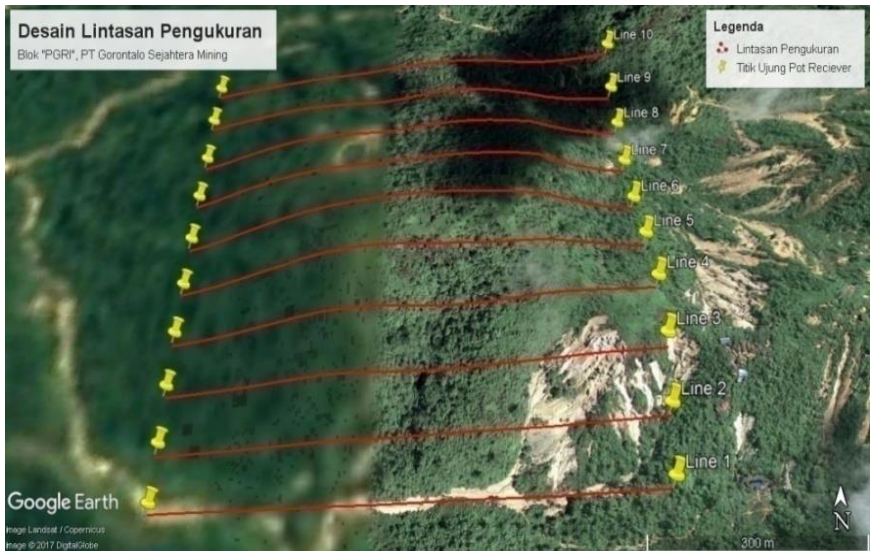
Penelitian ini dilakukan padapada bulan September 2017 hingga bulan November 2017 di PT. Gorontalo Sejahtera Mining dan dilanjutkan di Laboratorium Eksplorasi Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Lokasi pengukuran berada di Desa Hulawa, Kecamatan Buntulia, Kabupaten Pohuwato, Provinsi Gorontalo.

### 3.2 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Perangkat lunak: Google Earth, Res2DInv, Geosoft, dan Microsoft Excel 2016.
2. Perangkat keras: Zonge Equipment, meteran, kompas, klinometer, GPS, laptop.

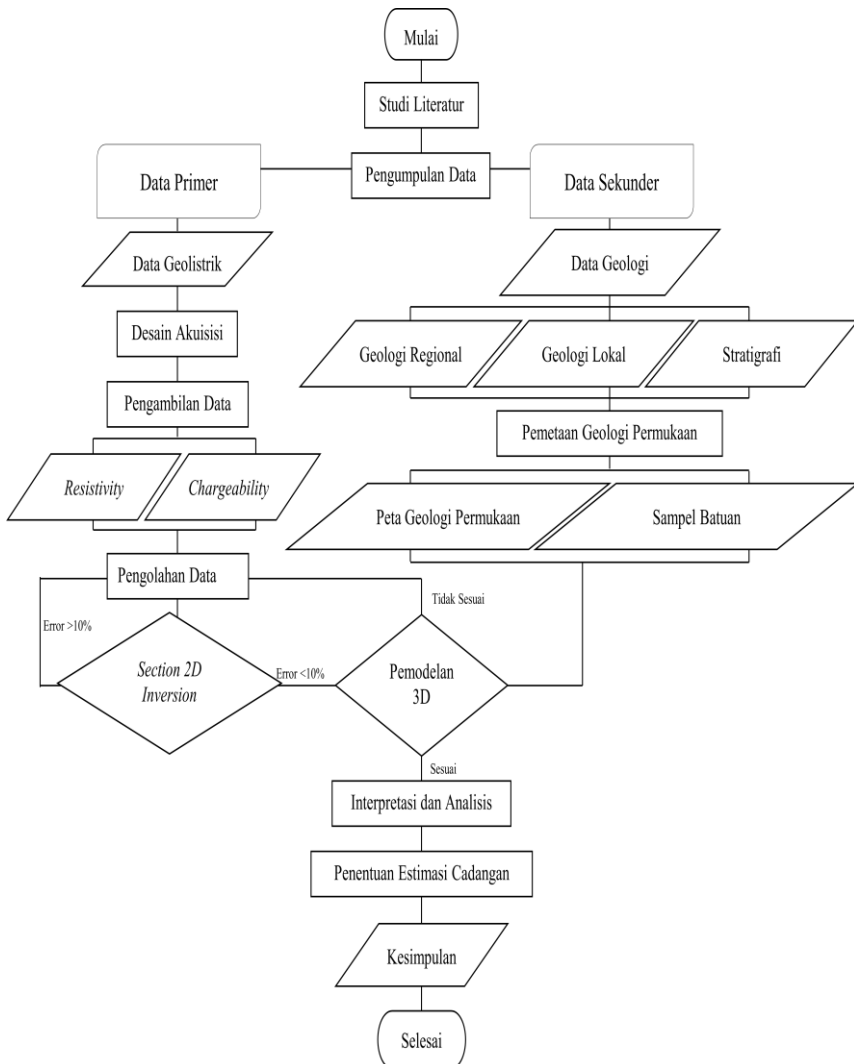
### 3.3 Desain Akuisisi



**Gambar 3.1** Desain akuisisi data resistivitas dan IP yang disesuaikan dengan kondisi topografi pada masing-masing lintasan. Garis merah menunjukkan lintasan pengukuran sedangkan pin warna kuning menunjukkan titik ujung posisi elektroda *reciever*.

Daerah penelitian memiliki luasan sekitar 900.000 m<sup>2</sup> dengan batas keliling sepanjang 3.800 meter. Total lintasan yang digunakan dalam pengambilan data adalah 10 lintasan dengan orientasi Barat-Timur. Jarak antar lintasan adalah 100 meter dengan orientasi desain Utara-Selatan.

### 3.4 Diagram Alir



**Gambar 3.2** Diagram alir yang dilakukan dalam penelitian

Penjelasan diagram alir secara singkat sebagai berikut:

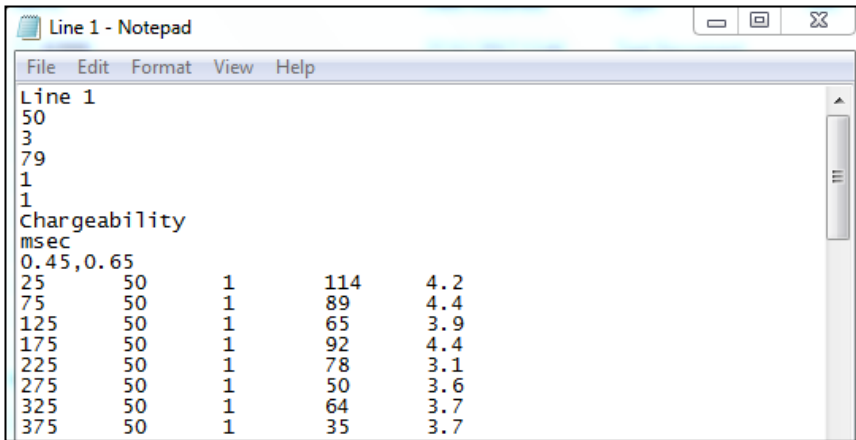
1. Dilakukan studi awal berupa studi geologi yang meliputi geologi regional Gorontalo, stratigrafi regional Gorontalo, dan geomorfologi daerah penelitian serta dilakukan studi literatur meliputi jurnal mengenai eksplorasi mineral dan penelitian serupa yang telah dilakukan.
2. Untuk data geologi, dikumpulkan data berupa peta geologi Gorontalo, tatanan stratigrafi regional Gorontalo, koordinat daerah target yang akan diteliti, dan parameter-parameter nilai resistivitas dan *chargeability* batuan/mineral yang akan dijadikan acuan penelitian.
3. Untuk data geofisika, dilakukan penentuan lokasi pengukuran geolistrik dan desain akuisisi sesuai dengan daerah target.
4. Dilakukan akuisi data geolistrik dan pemetaan geologi daerah target. Pemetaan geologi meliputi pemetaan litologi permukaan dan pengambilan sampel batuan.
5. Dilakukan pengolahan data geolistrik menggunakan software *Res2Dinv* dan *Geosoft Oasis Montaj*. Sedangkan data hasil pemetaan geologi diolah dengan *Geosoft Oasis Montaj*.
6. Dilakukan pemodelan dan korelasi antara penampang hasil inversi dengan data pemetaan geologi.
7. Dilakukan interpretasi dan analisis hasil pemodelan serta penentuan estimasi cadangan.

### **3.5 Pengolahan Data**

#### **3.5.1 Pengolahan Data Geolistrik**

##### **3.5.1.1 Input Data**

Buka *RES2DINV.exe* dan kemudian akan muncul tampilan awal software tersebut. Kemudian pilih menu *Read data file* untuk memasukkan data dengan format *.dat* atau *.txt* seperti gambar 3.3 di bawah ini.

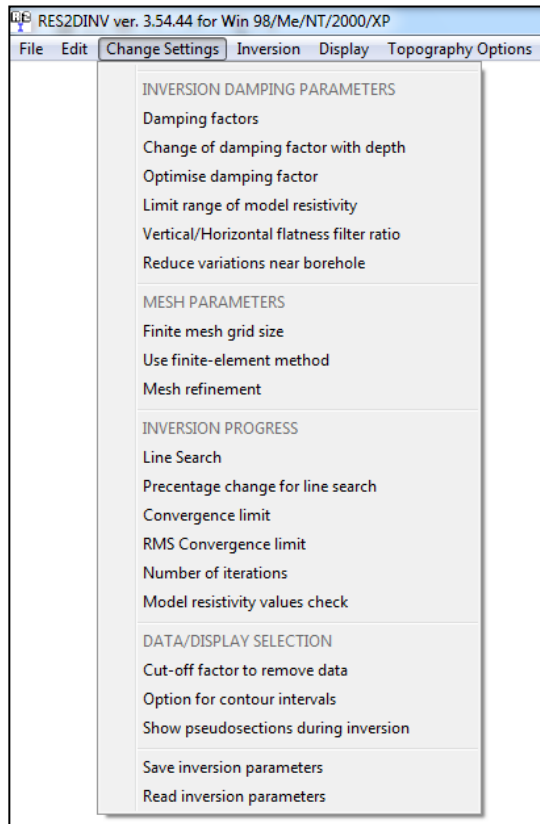


**Gambar 3.3** Input data awal dengan susunan baris 1 sebagai judul, baris 2 sebagai jarak antar elektroda, baris 3 menunjukkan jenis konfigurasi yang digunakan, baris 4 menunjukkan banyaknya data, baris 5 menunjukkan tipe datum, baris 6 menunjukkan tipe survey, baris 7 data sekunder, baris 8 satuan data, baris 9 konstanta yang dikeluarkan alat (*receiver*), dan baris 10 secara berurutan menunjukkan lokasi datum, spasi elektroda, urutan ke-n, nilai resistivitas, nilai *chargeability*.

### 3.5.1.2 Merubah *Setting program*

Pada pilihan *Change Setting* terdapat beberapa parameter yang dapat diubah untuk memberikan hasil inversi yang lebih baik. Pada pengolahan ini, parameter yang dirubah adalah :

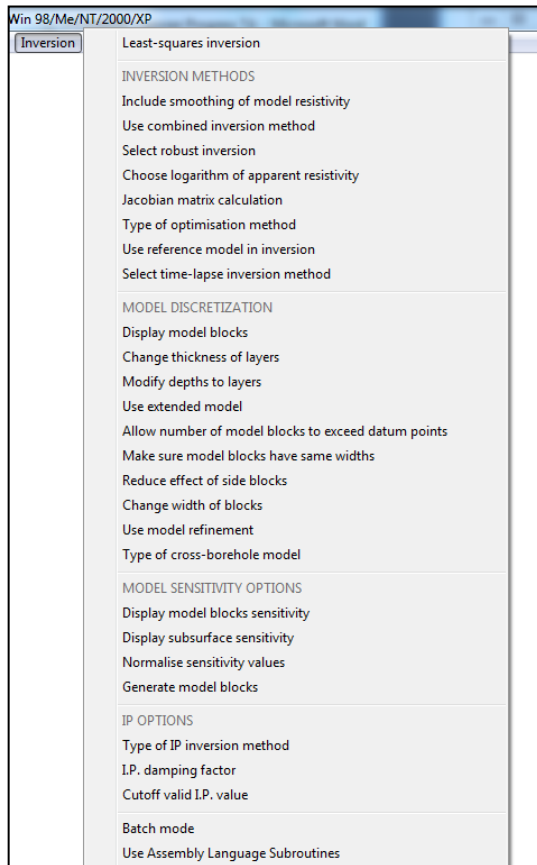
1. *Damping Factor*, untuk meminimalkan eror yang diakibatkan noise pada data.
2. *Vertical/Horizontal flatness ratio*, untuk mempertajam arah dari indikasi anomali.
3. *Finite mesh grid size*, untuk meningkatkan kontras hasil inversi yang lebih jelas.
4. *Use finite element method*, untuk meminimalkan eror yang diakibatkan oleh pengaruh topografi.
5. *Mesh refinement*, untuk meningkatkan akurasi perhitungan nilai resistivitas secara vertikal.



**Gambar 3.4** Beberapa pilihan yang terdapat pada menu *Change Setting*.

### 3.5.1.3 Merubah Parameter Inversi

Pada tahap ini, ditentukan metode inversi yang akan digunakan. Penulis menggunakan metode *Robust Inversion* dengan tujuan agar diperoleh hasil inversi dengan nilai eror yang rendah namun hasil inversi (*section 2D*) yang lebih *smooth*.

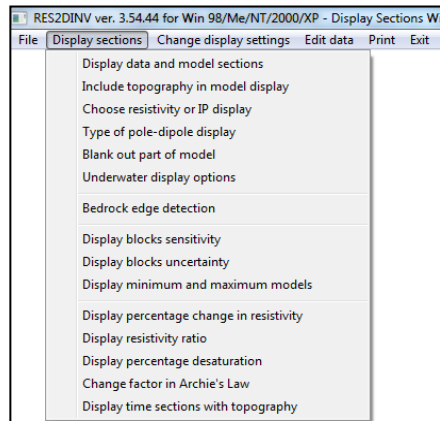


**Gambar 3.5** Beberapa pilihan yang terdapat pada menu *Inversion*.

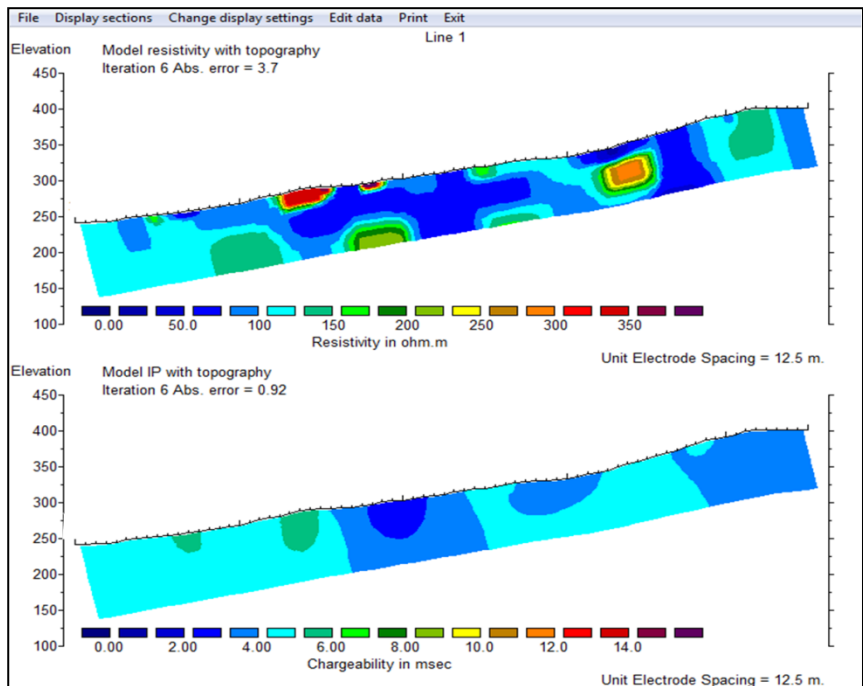
### 3.5.1.4 Menampilkan Hasil Inversi

Ketika sudah selesai proses inversi, hasil inversi dapat ditampilkan kembali menggunakan menu *Dipslay*. Pada menu ini, akan memanggil data format .INV atau .BTH, kemudian tentukan iterasi ke berapa yang akan di tampilkan dan tentukan *section Resistivity and IP* agar dapat lebih mudah melakukan interpretasi.





**Gambar 3.6** Menu *Display Inversion Result*



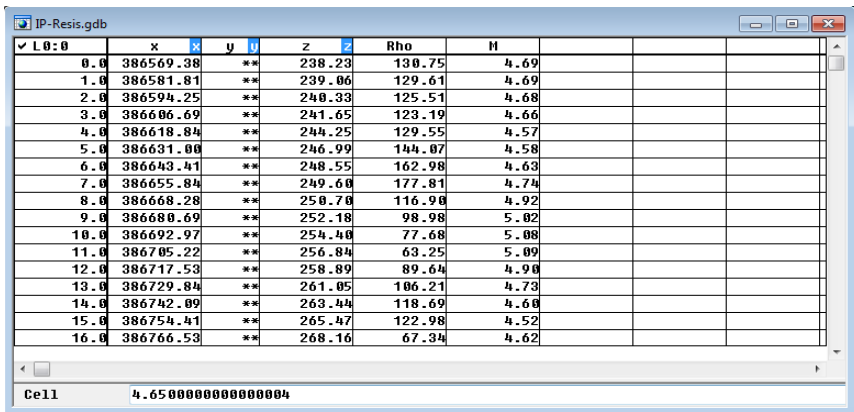
**Gambar 3.7** *Section 2D* hasil inversi pada lintasan 1 dimana *section resistivity* ditunjukkan pada bagian atas sedangkan *section chargeability* ditunjukkan pada bagian bawah. Nilai error yang diperoleh 3.7% sudah sesuai dengan target awal dibawah 10%.

### 3.5.2 Pemodelan 3D

Pemodelan yang dilakukan menggunakan Geosoft Oasis Montaj. Hasil inversi yang telah di export kemudian dimasukkan ke dalam *software Geosoft*. Secara umum, langkah kerja yang dilakukan dalam pemodelan 3D ini adalah sebagai berikut.

#### 3.5.2.1 Input Data

Data yang digunakan adalah nilai resistivitas, *chargeability*, koordinat (*easting* dan *northing*), serta data elevasi (topografi) setiap lintasan. Semua data yang akan digunakan dalam input data merupakan data hasil export RES2DINV. Data tersebut dimasukkan dalam geodatabase seperti gambar di bawah ini.



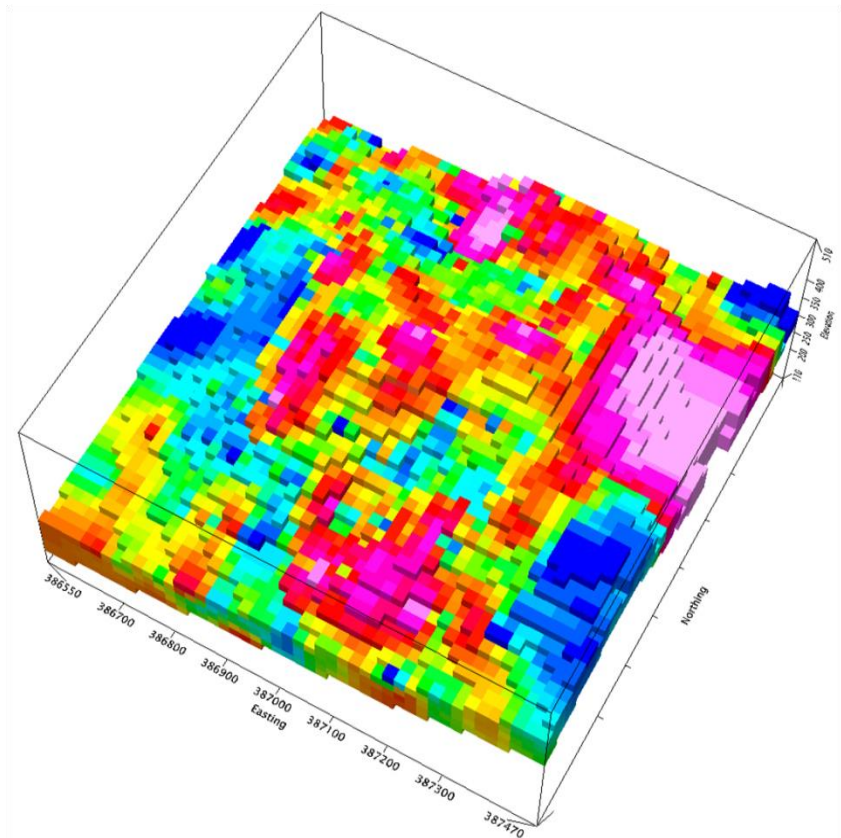
	x	y	z	Rho	M
0.0	386569.38	**	238.23	130.75	4.69
1.0	386581.81	**	239.06	129.61	4.69
2.0	386594.25	**	240.33	125.51	4.68
3.0	386606.69	**	241.65	123.19	4.66
4.0	386618.84	**	244.25	129.55	4.57
5.0	386631.00	**	246.99	144.07	4.58
6.0	386643.41	**	248.55	162.98	4.63
7.0	386655.84	**	249.60	177.81	4.74
8.0	386668.28	**	250.70	116.90	4.92
9.0	386680.69	**	252.18	98.98	5.02
10.0	386692.97	**	254.40	77.68	5.08
11.0	386705.22	**	256.84	63.25	5.09
12.0	386717.53	**	258.89	89.64	4.90
13.0	386729.84	**	261.05	106.21	4.73
14.0	386742.09	**	263.44	118.69	4.60
15.0	386754.41	**	265.47	122.98	4.52
16.0	386766.53	**	268.16	67.34	4.62

Cell 4.6500000000000004

**Gambar 3.8** *Geodatabase* yang digunakan dalam *software Geosoft Oasis Montaj* dimana x adalah *easting*, y adalah *northing*, z adalah elevasi, Rho adalah nilai resistivitas sebenarnya dan M adalah nilai *chargeability* sebenarnya. Nilai Rho dan M diperoleh dari export data pada hasil inversi.

#### 3.5.2.2 3D Gridding

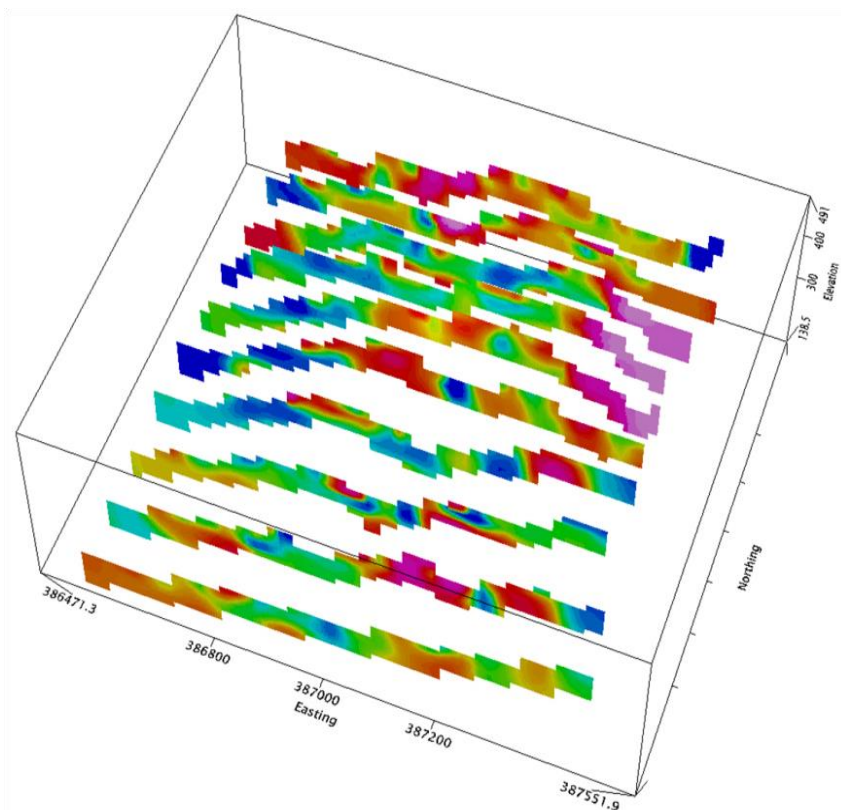
Data yang telah dimasukkan, di grid untuk mendapatkan model 3D secara keseluruhan. Parameter yang digunakan hanya nilai resistivitas dan atau *chargeability*. Untuk mendapatkan target yang sesuai dengan target awal, dilakukan pemotongan (*clip*) data hasil grid menggunakan data topografi. Hasil *gridding* dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 3.9** Hasil *gridding* secara 3D nilai resistivitas yang menunjukkan persebaran nilai resistivitas baik secara vertikal maupun horizontal.

### 3.5.2.3 *Grid Section*

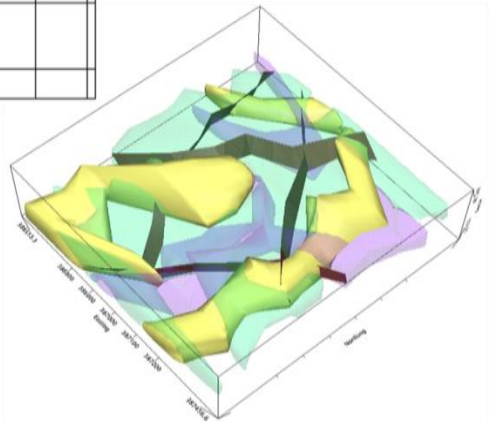
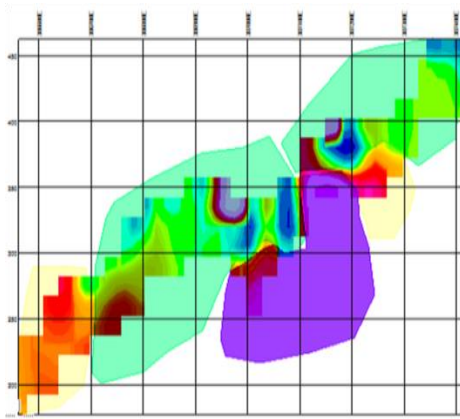
Proses ini dilakukan untuk mendapatkan *section* dari setiap lintasan dan disajikan secara 3D sehingga dapat mempermudah proses interpretasi. Hasil grid section adalah sebagai berikut.



**Gambar 3.10** *Grid Section 2D* hasil inversi tiap lintasan hasil pemisahan *section* berdasarkan persebaran nilai resistivitas

### 3.5.2.4 Wireframing

Proses ini merupakan tahap interpretasi litologi dan struktur di tiap lintasan dengan dilakukan *picking* batas poligon untuk penentuan litologi dan *picking* batas polyline untuk penentuan struktur seperti patahan. Hasil *picking* kemudian dikonversikan ke bentuk *geosurface* dengan tujuan diperoleh bentuk 3D. Hasil *wireframing* adalah sebagai berikut.



**Gambar 3.11** Proses *picking* litologi pada penampang resistivitas yang ditunjukkan pada gambar atas dan hasil *geosurface* yang menunjukkan persebaran litologi daerah penelitian yang ditunjukkan pada gambar bawah.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV

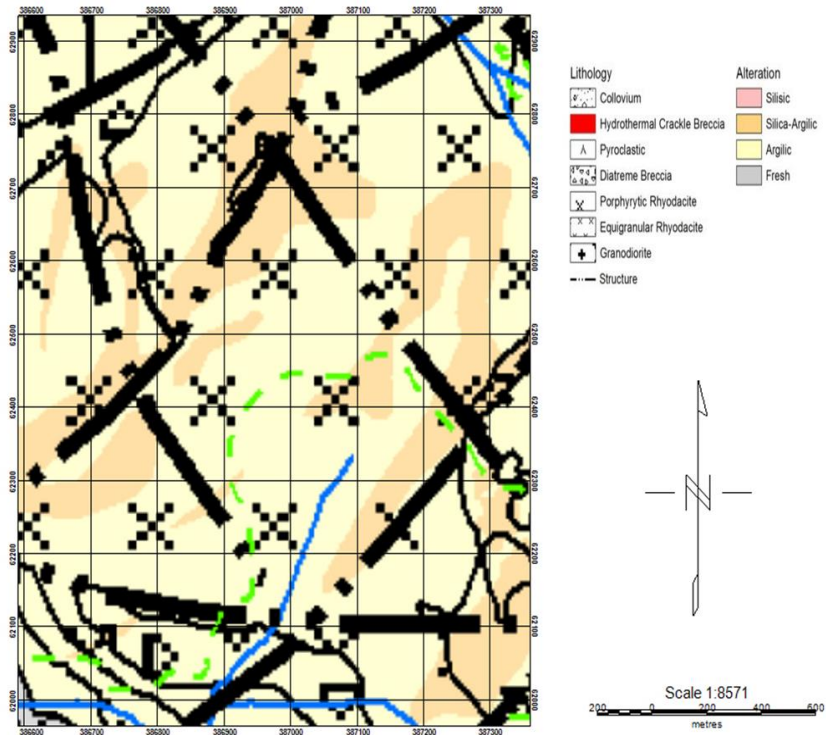
### ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Geologi

Berdasarkan peta geologi oleh Bachri dkk, tahun 1993, daerah penelitian terletak pada lembar Tilamuta dan formasi Tpb yaitu formasi Granodiorit Bumbulan dengan litologi batuan berupa granodiorit, granit, dasit, monzoit kuarsa. Berdasarkan hasil dari pemetaan geologi permukaan, lithologi pada blok “PGRI” didominasi oleh batuan *equigranular ryodacite, porphyritic ryodacite, clay* serta *phreatomagmatic breccia*. Keterdapatan logam emas diduga berada dalam sistem urat pada *Porphyritic ryodacite*. Menurut Marjoribanks tahun 1998 dalam Olberg tahun 1999, diatrem bresia terbentuk karena adanya intrusi magma yang kemudian kontak dengan air permukaan. Kontak tersebut mengakibatkan ledakan (eksplusif) pada magma dan mengeluarkan energi yang cukup besar untuk menghancurkan (*mixing*) batuan di atasnya yaitu riodasit equigranular dan riodasit porpiritik sehingga terbentuk *phreatomagmatic breccia* (diatreme breccia) serta menimbulkan *fracture* pada riodasit porpiritik itu sendiri. Selain energi yang cukup besar, kontak antara magma dengan air permukaan juga menghasilkan fluida hidrotermal dalam bentuk uap. Akibat suhu dan tekanan, fluida hidrotermal naik menuju permukaan melalui rekahan-rekahan sehingga kontak dengan air permukaan kemudian terbentuk *phreatik breccia* (hydrothermal breccia) dan juga terjadi proses mineralisasi pada dinding batuan riodasit porpiritik yang dilewatinya. Pengendapan mineral logam seperti mineral ilite, pirit, limonite, dan juga emas terjadi pada rekahan (urat) riodasit porpiritik seiring dengan penurunan suhu dan tekanan.

Secara umum, tipe alterasi pada blok “PGRI” merupakan alterasi tipe Silika-Argilik dan Argilik. Pada tipe Silika-Argilik, analisa *quick look* sampel batuan yang dijumpai di lapangan dengan litologi berupa riodasit menunjukkan konten mineral silika seperti kuarsa terlihat dominan dengan intensitas  $\pm 30\%$  -  $50\%$  dan tergolong pada proses *moderate-strong silicified*. Selain itu, keterdapatan *Mn veinlet* mengindikasikan adanya proses oksidasi yang tergolong kuat (*strong oxide*). Pada beberapa lokasi juga dijumpai adanya tekstur breksiasi yang diduga sebagai akibat dari proses alterasi tipe *low-medium altered* dan terbentuk batuan breksi. Sedangkan pada tipe Argilik, sampel batuan dengan litologi *clay* jarang dijumpai adanya mineral silika seperti kuarsa. Hal ini disebabkan karena proses mineralisasi dimana mineral primer berupa kuarsa, biotit, plagioklas teralterasi menjadi *clay* sehingga tergolong *clay altered* dengan intensitas *medium-strong altered*. Proses mineralisasi pada blok “PGRI” terdapat pada kombinasi urat kuarsa pada sistem breksiasi dengan urat menyebar dan saling berpotongan (*stockwork*)

akibat proses *fracturing* ketika terjadi intrusi magma. Terbentuknya sistem urat tersebut diduga dikontrol oleh proses intrusi magma dan juga struktur patahan atau sesar yang terdapat pada lapangan penelitian. Struktur patahan didominasi oleh patahan dengan arah NW-SE dan juga NE-SW.



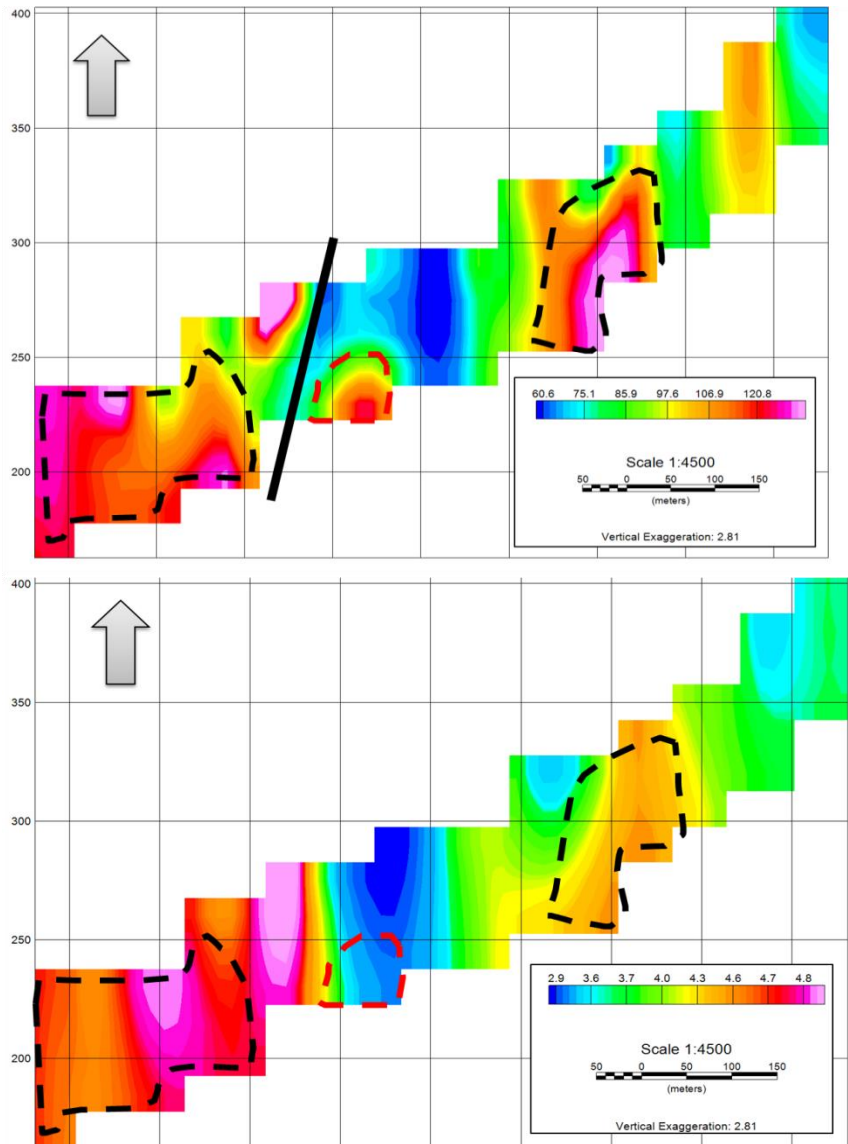
**Gambar 4.1** Peta geologi permukaan Blok “PGRI” yang digunakan sebagai acuan dalam melakukan interpretasi *section 2D* resistivitas dan *chargeability*. Peta ini diperoleh setelah dilakukan pemetaan langsung di lapangan oleh ahli geologi perusahaan.

## 4.2 Data Geofisika

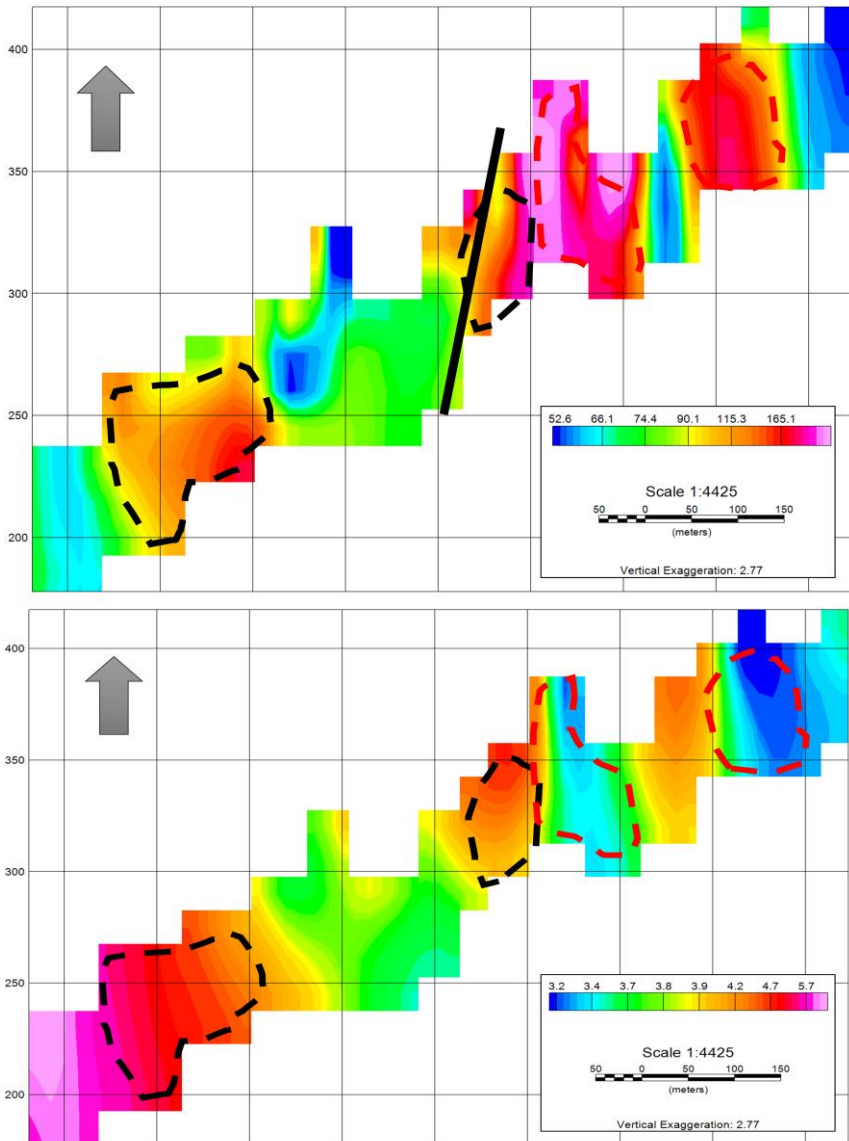
### 4.2.1 Penampang 2D

Hasil pengolahan data *resistivity* dan *chargeability* diperoleh penampang 2D pada masing-masing lintasan yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

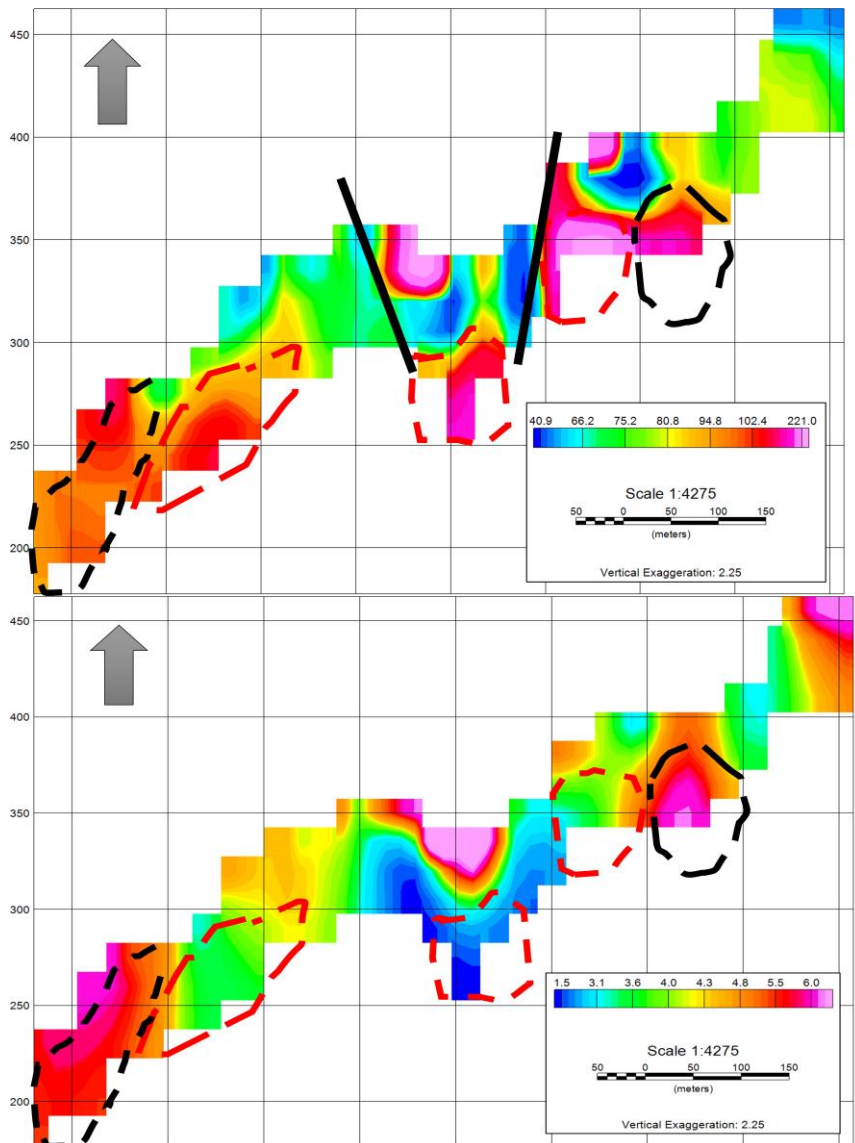




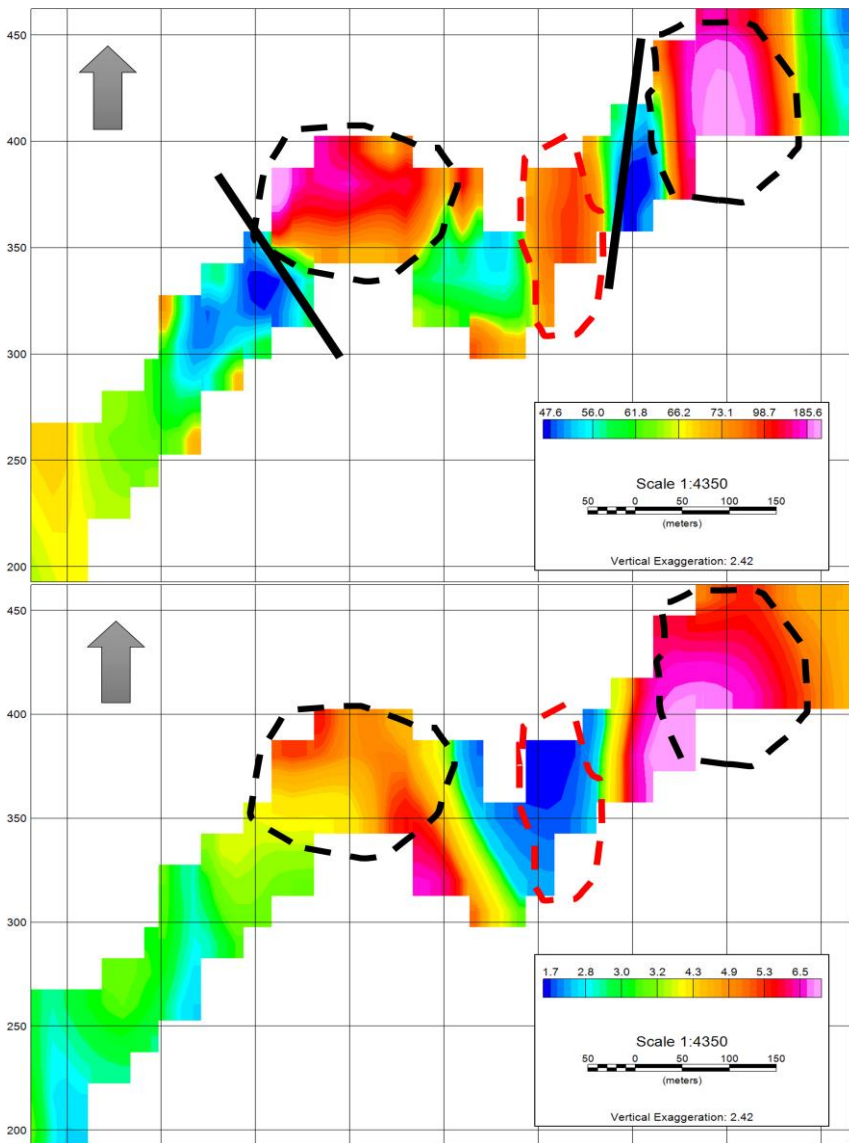
**Gambar 4.2** Interpretasi litologi dan struktur pada penampang *resistivity* (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada lintasan 1. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit.



**Gambar 4.3** Interpretasi litologi dan struktur pada penampang *resistivity* (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada lintasan 2. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit.



**Gambar 4.4** Interpretasi litologi dan struktur pada penampang *resistivity* (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada lintasan 3. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit.



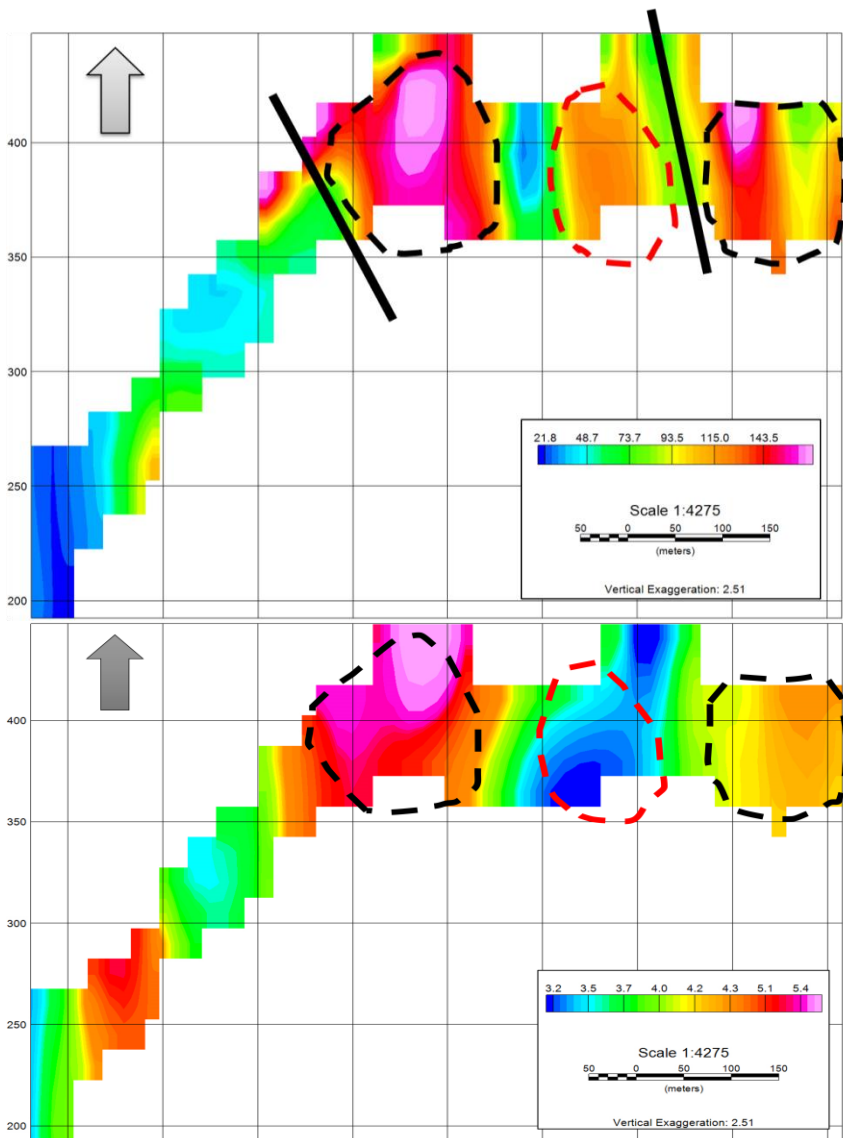
**Gambar 4.5** Interpretasi litologi dan struktur pada penampang *resistivity* (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada lintasan 4. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit.

Dari lintasan 1, kontras resistivitas yang cukup tinggi dengan sekitarnya yang diindikasikan sebagai struktur (patahan/sesar) ditandai dengan garis lurus warna hitam. Anomali nilai resistivitas sedang-tinggi sekitar 100  $\Omega\text{m}$  – 150  $\Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* sedang-tinggi sekitar 4.3 msec – 8 msec diindikasikan litologi batuan berupa riadasit masif, ditandai dengan garis putus-putus warna hitam. Sedangkan nilai resistivitas tinggi sekitar 100  $\Omega\text{m}$  – 150  $\Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* rendah kurang dari 3 msec diindikasikan litologi batuan berupa breksi, ditandai dengan garis putus-putus warna merah. Nilai resistivitas rendah kurang dari 80  $\Omega\text{m}$  dan *chargeability* juga rendah kurang dari 4 msec diindikasikan litologi batuan berupa *clay*.

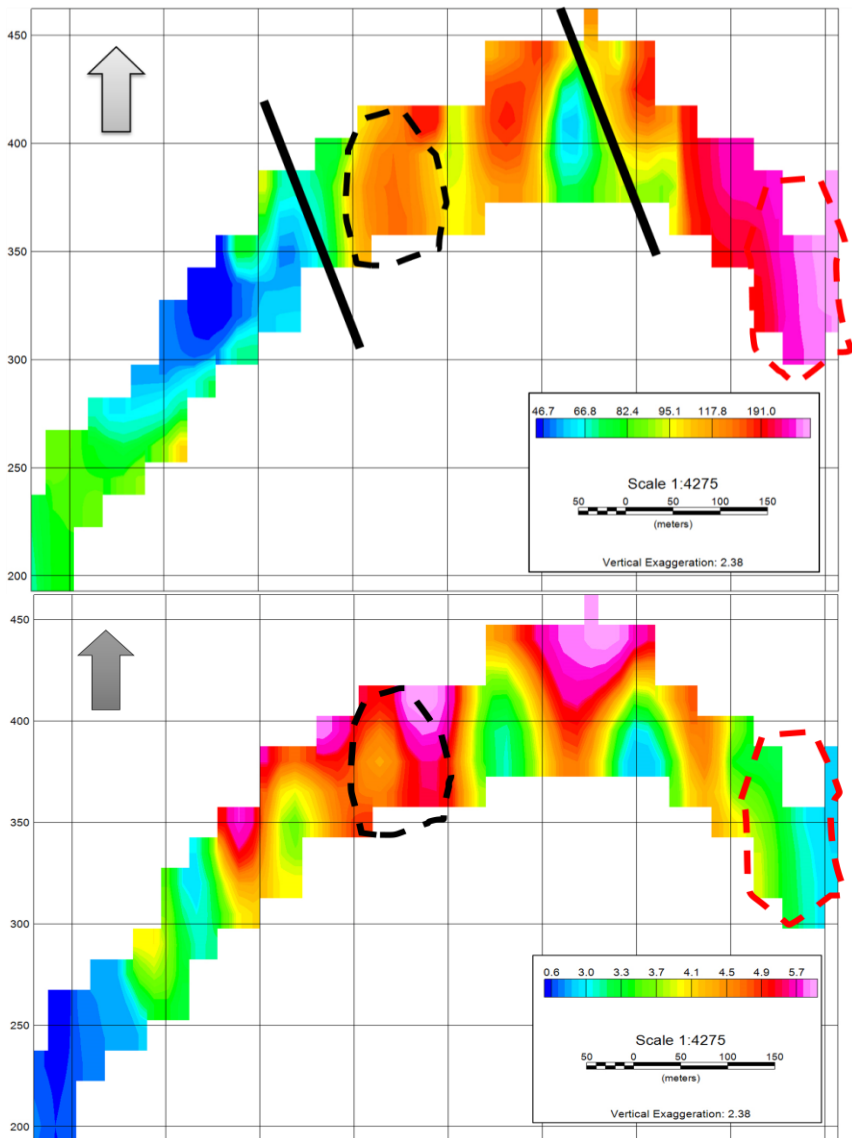
Lintasan 2, kontras resistivitas yang cukup tinggi dengan sekitarnya yang diindikasikan sebagai struktur (patahan/sesar) ditandai dengan garis lurus warna hitam. Anomali nilai resistivitas sedang-tinggi sekitar 90  $\Omega\text{m}$  – 160  $\Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* sedang-tinggi sekitar 3.9 msec – 5 msec diindikasikan litologi batuan berupa riadasit masif ditandai dengan garis putus-putus warna hitam. Sedangkan nilai resistivitas tinggi sekitar 90  $\Omega\text{m}$  – 160  $\Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* rendah kurang dari 3.5 msec diindikasikan litologi batuan berupa breksi ditandai dengan garis putus-putus warna merah. Nilai resistivitas rendah kurang dari 75  $\Omega\text{m}$  dan *chargeability* juga rendah kurang dari 3.8 msec diindikasikan litologi batuan berupa *clay*.

Lintasan 3, kontras resistivitas yang cukup tinggi dengan sekitarnya yang diindikasikan sebagai struktur (patahan/sesar) ditandai dengan garis lurus warna hitam. Anomali nilai resistivitas sedang-tinggi sekitar 100  $\Omega\text{m}$  – 200  $\Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* sedang-tinggi sekitar 4.2 msec – 6 msec diindikasikan litologi batuan berupa riadasit masif ditandai dengan garis putus-putus warna hitam. Sedangkan nilai resistivitas tinggi sekitar 100  $\Omega\text{m}$  – 200  $\Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* rendah kurang dari 3.1 msec diindikasikan litologi batuan berupa breksi ditandai dengan garis putus-putus warna merah. Nilai resistivitas rendah kurang dari 75  $\Omega\text{m}$  dan *chargeability* juga rendah kurang dari 4 msec diindikasikan litologi batuan berupa *clay*.

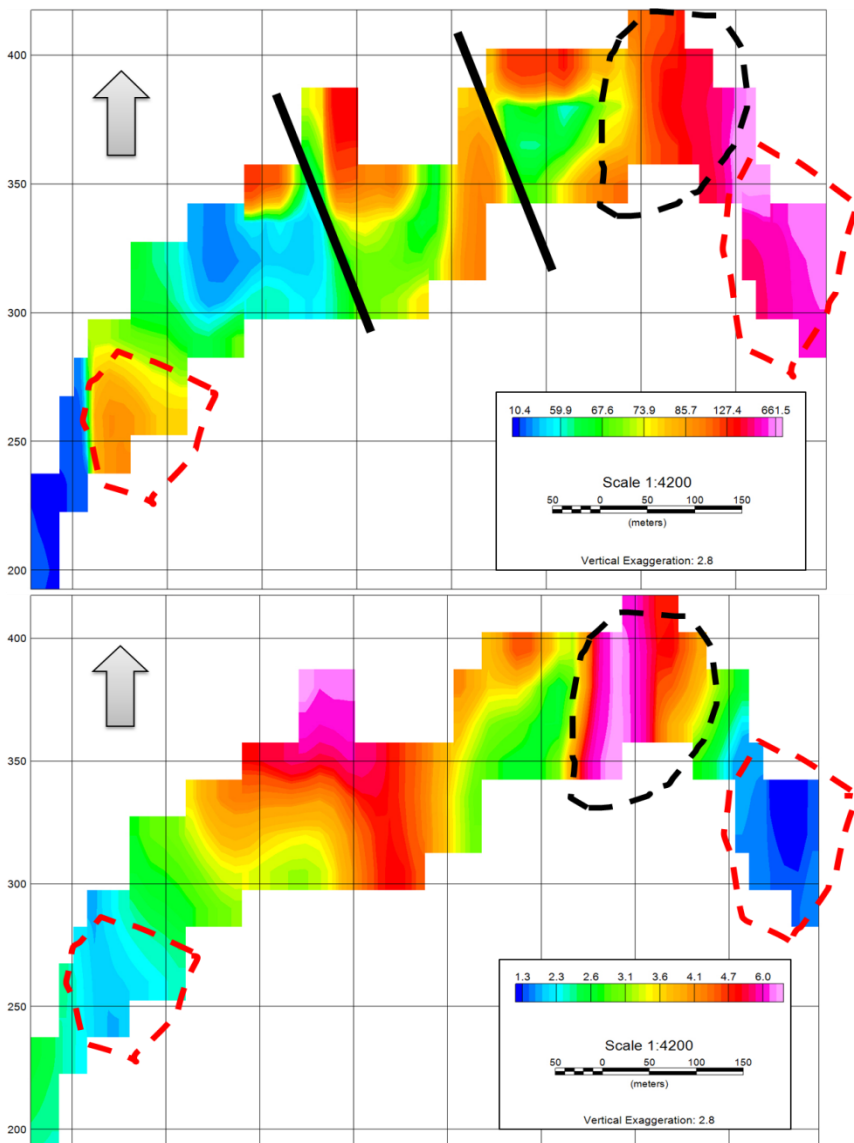
Lintasan 4, kontras resistivitas yang cukup tinggi dengan sekitarnya yang diindikasikan sebagai struktur (patahan/sesar) ditandai dengan garis lurus warna hitam. Anomali nilai resistivitas sedang-tinggi sekitar 70  $\Omega\text{m}$  – 190  $\Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* sedang-tinggi sekitar 4 msec – 7 msec diindikasikan litologi batuan berupa riadasit masif ditandai dengan garis putus-putus warna hitam. Sedangkan nilai resistivitas tinggi sekitar 70  $\Omega\text{m}$  – 190  $\Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* rendah kurang dari 2.8 msec diindikasikan litologi batuan berupa breksi ditandai dengan garis putus-putus warna merah. Nilai resistivitas rendah kurang dari 65  $\Omega\text{m}$  dan *chargeability* juga rendah kurang dari 4 msec diindikasikan litologi batuan berupa lapisan *clay*.



**Gambar 4.6** Interpretasi litologi dan struktur pada penampang *resistivity* (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada lintasan 5. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit.

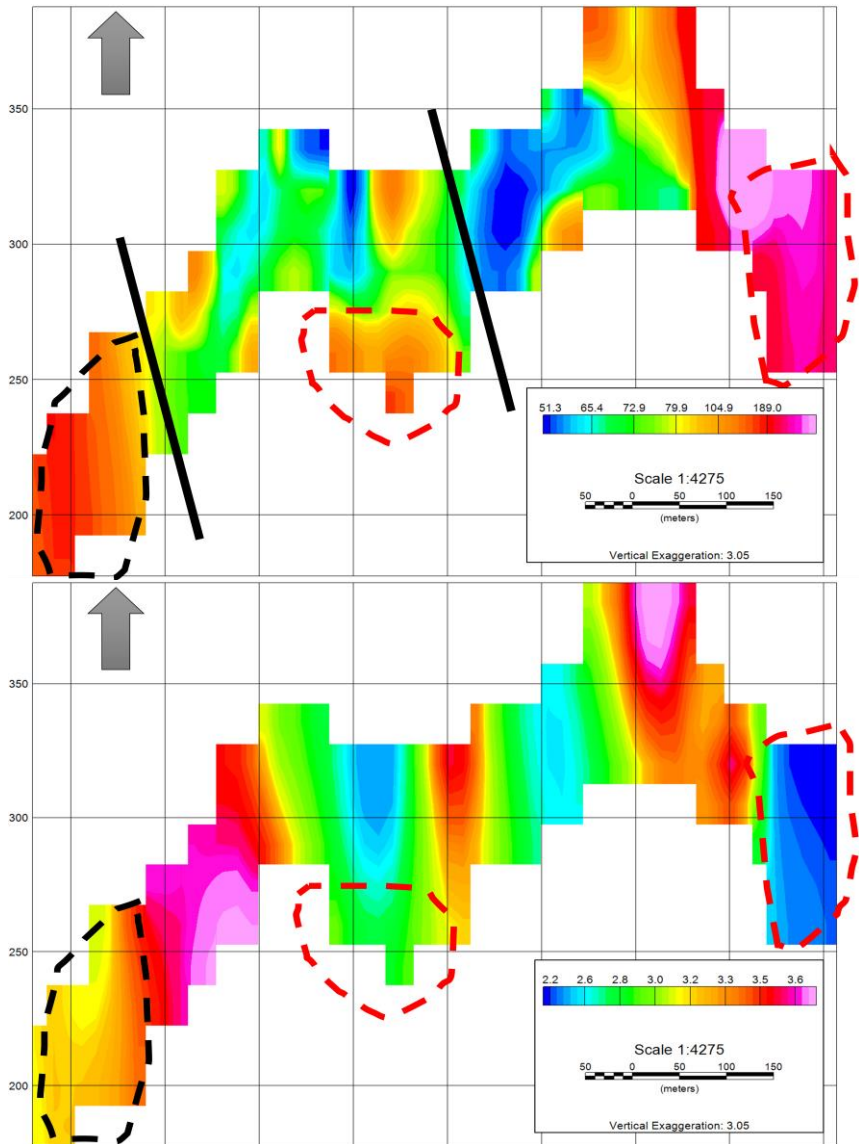


**Gambar 4.7** Interpretasi litologi dan struktur pada penampang *resistivity* (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada lintasan 6. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit.



**Gambar 4.8** Interpretasi litologi dan struktur pada penampang *resistivity* (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada lintasan 7. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit.





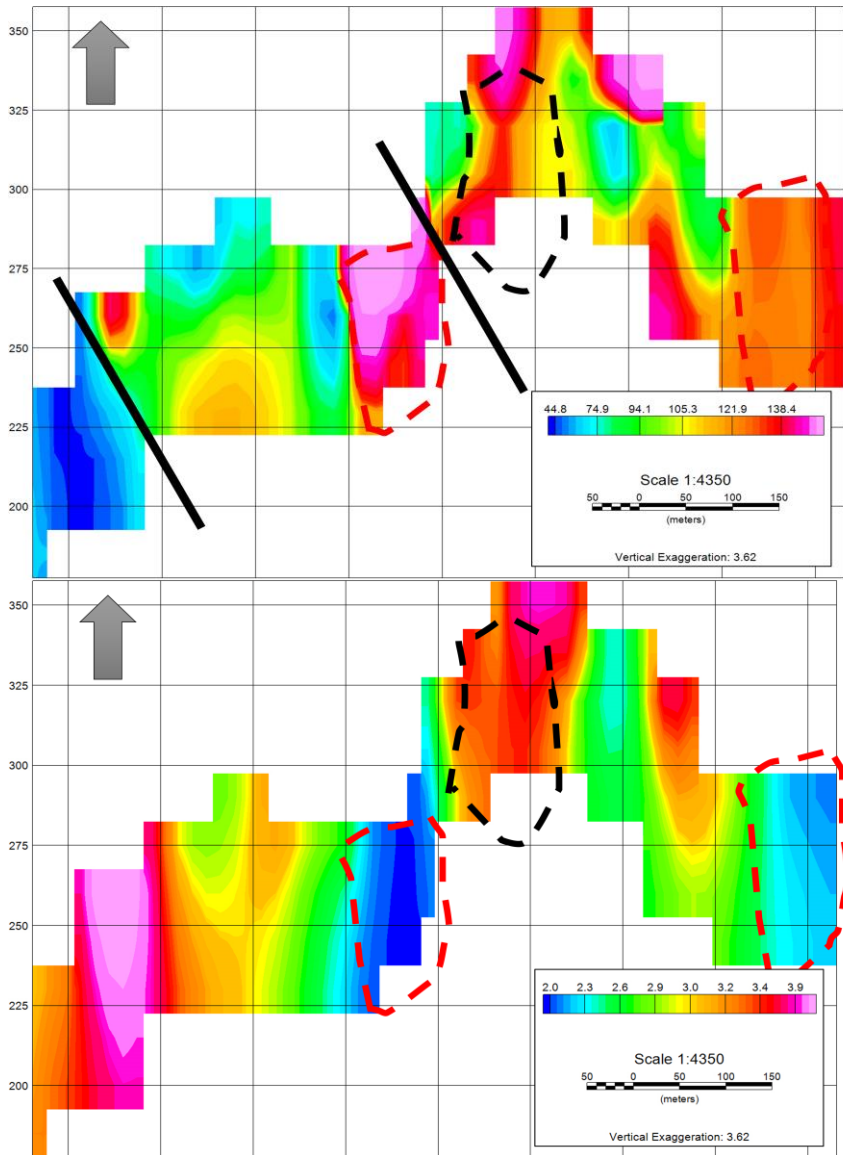
**Gambar 4.9** Interpretasi litologi dan struktur pada penampang *resistivity* (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada lintasan 8. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai rioidasit.

Lintasan 5, kontras resistivitas yang cukup tinggi dengan sekitarnya yang diindikasikan sebagai struktur (patahan/sesar) ditandai dengan garis lurus warna hitam. Anomali nilai resistivitas sedang-tinggi sekitar  $93\ \Omega\text{m}$  –  $150\ \Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* sedang-tinggi sekitar 4.1 msec – 5.5 msec diindikasikan litologi batuan berupa riadasit masif ditandai dengan garis putus-putus warna hitam. Sedangkan nilai resistivitas tinggi sekitar  $93\ \Omega\text{m}$  –  $150\ \Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* rendah kurang dari 3.5 msec diindikasikan litologi batuan berupa breksi ditandai dengan garis putus-putus warna merah. Nilai resistivitas rendah kurang dari  $73\ \Omega\text{m}$  dan *chargeability* juga rendah kurang dari 4 msec diindikasikan litologi batuan berupa *clay*.

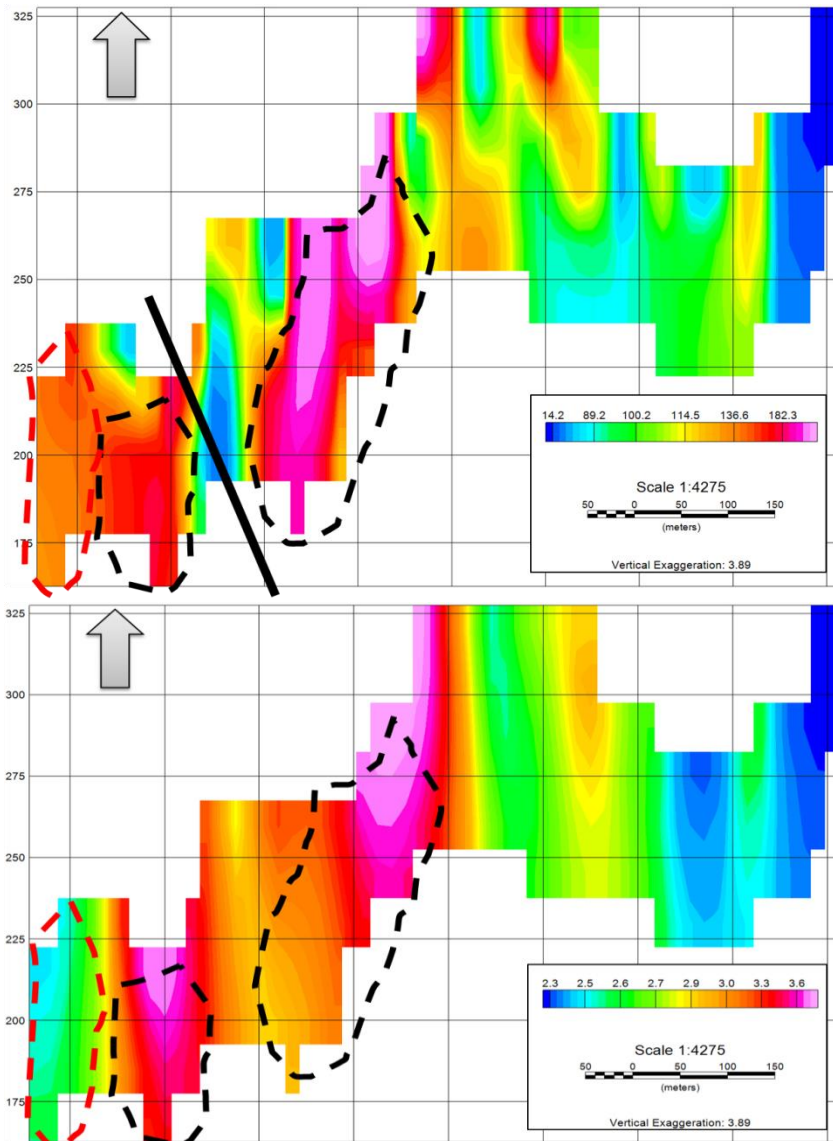
Lintasan 6, kontras resistivitas yang cukup tinggi dengan sekitarnya yang diindikasikan sebagai struktur (patahan/sesar) ditandai dengan garis lurus warna hitam. Anomali nilai resistivitas sedang-tinggi sekitar  $90\ \Omega\text{m}$  –  $190\ \Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* sedang-tinggi sekitar 4 msec – 6 msec diindikasikan litologi batuan berupa riadasit masif ditandai dengan garis putus-putus warna hitam. Sedangkan nilai resistivitas tinggi sekitar  $90\ \Omega\text{m}$  –  $190\ \Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* rendah kurang dari 3 msec diindikasikan litologi batuan berupa breksi ditandai dengan garis putus-putus warna merah. Nilai resistivitas rendah kurang dari  $82\ \Omega\text{m}$  dan *chargeability* juga rendah kurang dari 3.7 msec diindikasikan litologi batuan berupa *clay*.

Lintasan 7, kontras resistivitas yang cukup tinggi dengan sekitarnya yang diindikasikan sebagai struktur (patahan/sesar) ditandai dengan garis lurus warna hitam. Anomali nilai resistivitas sedang-tinggi sekitar  $73\ \Omega\text{m}$  –  $180\ \Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* sedang-tinggi sekitar 3.6 msec – 6 msec diindikasikan litologi batuan berupa riadasit masif ditandai dengan garis putus-putus warna hitam. Sedangkan nilai resistivitas tinggi sekitar  $73\ \Omega\text{m}$  –  $180\ \Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* rendah kurang dari 2.3 msec diindikasikan litologi batuan berupa breksi ditandai dengan garis putus-putus warna merah. Nilai resistivitas rendah kurang dari  $67\ \Omega\text{m}$  dan *chargeability* juga rendah kurang dari 3 msec diindikasikan litologi batuan berupa *clay*.

Lintasan 8, kontras resistivitas yang cukup tinggi dengan sekitarnya yang diindikasikan sebagai struktur (patahan/sesar) ditandai dengan garis lurus warna hitam. Anomali nilai resistivitas sedang-tinggi sekitar  $80\ \Omega\text{m}$  –  $200\ \Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* sedang-tinggi sekitar 3.1 msec – 3.7 msec diindikasikan litologi batuan berupa riadasit masif ditandai dengan garis putus-putus warna hitam. Sedangkan nilai resistivitas tinggi sekitar  $80\ \Omega\text{m}$  –  $200\ \Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* rendah kurang dari 2.6 msec diindikasikan litologi batuan berupa breksi ditandai dengan garis putus-putus warna merah. Nilai resistivitas rendah kurang dari  $73\ \Omega\text{m}$  dan *chargeability* juga rendah kurang dari 3 msec diindikasikan litologi batuan berupa *clay*.



**Gambar 4.10** Interpretasi litologi dan struktur pada penampang *resistivity* (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada lintasan 9. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit.



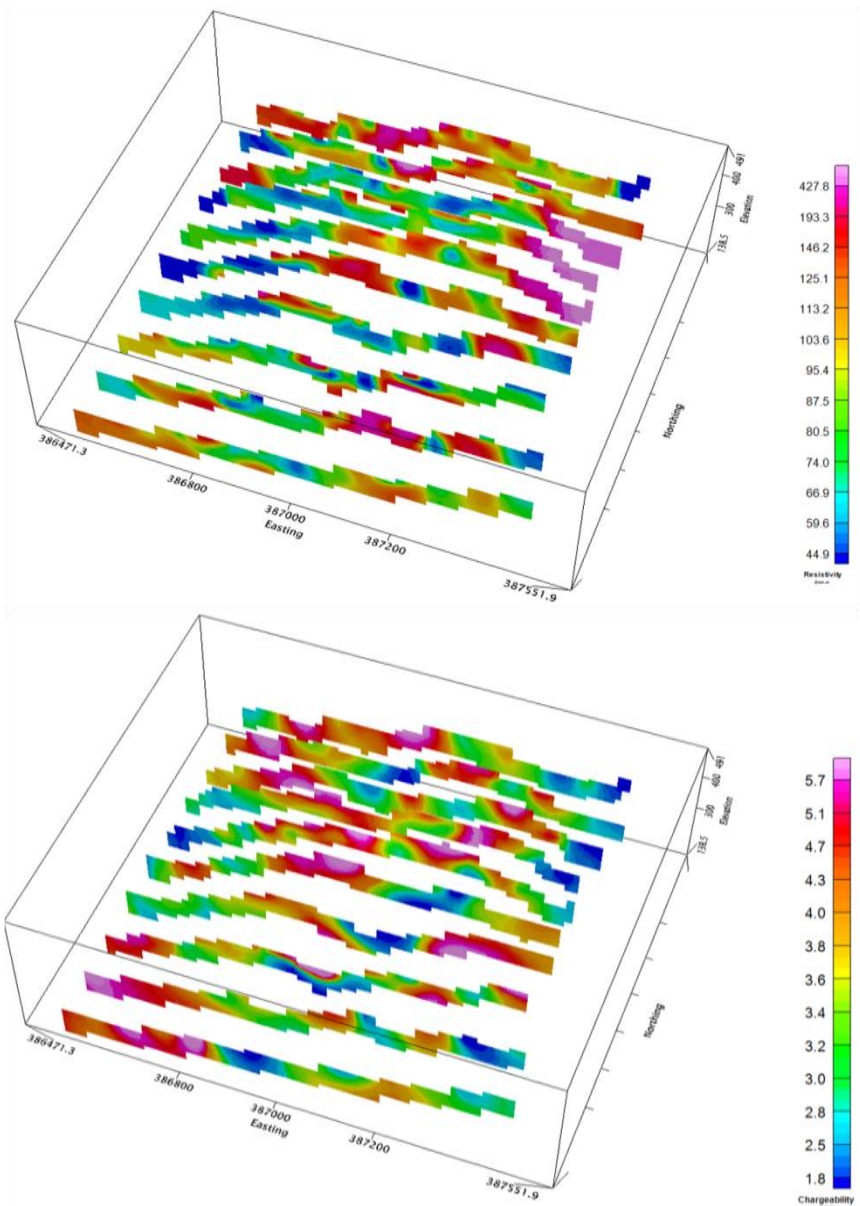
**Gambar 4.11** Interpretasi litologi dan struktur pada penampang *resistivity* (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada lintasan 10. Garis hitam lurus diindikasikan sebagai struktur, garis putus-putus warna merah diindikasikan sebagai breksi dan garis putus-putus diindikasikan sebagai riodasit.

Lintasan 9, kontras resistivitas yang cukup tinggi dengan sekitarnya yang diindikasikan sebagai struktur (patahan/sesar) ditandai dengan garis lurus warna hitam. Anomali nilai resistivitas sedang-tinggi sekitar  $100 \Omega\text{m} - 150 \Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* sedang-tinggi sekitar 2.9 msec – 4 msec diindikasikan litologi batuan berupa riadasit masif ditandai dengan garis putus-putus warna hitam. Sedangkan nilai resistivitas tinggi sekitar  $100 \Omega\text{m} - 150 \Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* rendah kurang dari 2.3 msec diindikasikan litologi batuan berupa breksi ditandai dengan garis putus-putus warna merah. Nilai resistivitas rendah kurang dari  $95 \Omega\text{m}$  dan *chargeability* juga rendah kurang dari 2.9 msec diindikasikan sebagai lapisan *clay*.

Lintasan 10, kontras resistivitas yang cukup tinggi dengan sekitarnya yang diindikasikan sebagai struktur (patahan/sesar) ditandai dengan garis lurus warna hitam. Anomali nilai resistivitas sedang-tinggi sekitar  $110 \Omega\text{m} - 190 \Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* sedang-tinggi sekitar 2.8 msec – 3.8 msec diindikasikan litologi batuan berupa riadasit masif ditandai dengan garis putus-putus warna hitam. Sedangkan nilai resistivitas tinggi sekitar  $110 \Omega\text{m} - 190 \Omega\text{m}$  dan nilai *chargeability* rendah kurang dari 2.5 msec diindikasikan litologi batuan berupa breksi ditandai dengan garis putus-putus warna merah. Nilai resistivitas rendah kurang dari  $100 \Omega\text{m}$  dan *chargeability* juga rendah kurang dari 2.7 msec diindikasikan sebagai lapisan *clay*.

#### 4.2.2 Penampang 3D

Penampang 3D diperoleh dari pemodelan dari penampang 2D hasil inversi RES2DINV pada masing-masing lintasan. Korelasi nilai resistivitas dan *chargeability* antar lintasan menggunakan metode Krigging dengan *software* Geosoft Oasis Montaj. Penampang 3D ini digunakan untuk analisa kemenerusan pola struktur dan litologi yang dianggap sebagai *ore body* berdasarkan nilai resistivitas dan *chargeability* yang mencerminkan kemenerusan zona urat yang mengandung mineralisasi emas pada daerah penelitian. Pola yang telah didapatkan kemudian dimodelkan untuk mendapatkan model bawah permukaan secara 3D. Hasil penampang 3D disajikan dalam gambar sebagai berikut.



**Gambar 4.12** Penampang 3D dari persebaran nilai resistivitas (gambar atas) dan *chargeability* (gambar bawah) pada masing-masing lintasan menentukan litologi target.

### 4.3 Pembahasan

Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran dipole-dipole metode *Resistivity* dan *Time Domain Induced Polarization* dengan tujuan untuk mengetahui pola penyebaran deposit emas dan pola distribusi zona batuan alterasi disekitarnya berdasarkan parameter nilai resistivitas dan *chargeability*. Kedua parameter tersebut dapat diinterpretasikan lapisan batuan yang diindikasikan sebagai pembawa deposit emas.

Menurut beberapa penelitian terdahulu tentang metode *Induced Polarization* untuk identifikasi keberadaan mineral emas seperti yang dilakukan oleh Sitti Muthmainnah dkk, endapan emas sistem *epithermal low sulfidation* memiliki karakteristik antara lain adanya struktur patahan dan rekahan yang mengontrol pergerakan larutan hidrotermal untuk mengisi batuan, hadirnya urat (vein system) yang berasosiasi mengandung emas yang pembentukannya diikuti oleh proses alterasi batuan dasar dan bergantung pada tingkat permeabilitasnya. Selain itu, proses pelapukan atau erosi yang berperan dalam identifikasi singkapan urat kuarsa emas di permukaan.

Kombinasi antara data *Resistivity* dan *Induced Polarization* dengan data geologi diharapkan memberikan interpretasi bawah permukaan yang mencerminkan karakteristik potensi deposit emas sistem epitermal *low sulfidation*. Dalam penelitian ini, data geologi yang digunakan adalah peta geologi regional lembar Tilamuta yang disusun oleh Bachri dkk tahun 1993 dan peta geologi permukaan yang disusun oleh tim geologi PT Gorontalo Sejahtera Mining.

**Tabel 4.1** Klasifikasi skala nilai resistivitas dan *chargeability*

Skala	Resistivitas ( $\Omega m$ )	<i>Chargeability</i> (msec)
Rendah	<80	<2
Sedang	60-120	2-4
Tinggi	>100	>3

**Tabel 4.2** Interpretasi profil inversi 2D resistivitas dan *chargeability*

Interpretasi	Resistivitas	<i>Chargeability</i>
Clay	Rendah	Rendah-Sedang
Riodasit	Sedang-Tinggi	Sedang-Tinggi
Breksi	Sedang-Tinggi	Sedang-Rendah
Alterasi Silika-Argilik	Sedang-Tinggi	Sedang-Tinggi
Alterasi Argilik	Sedaang-Tinggi	Sedang-Rendah
Mineralisasi Emas	Sedang-Tinggi	Tinggi

Secara umum, blok “PGRI” disusun oleh litologi batuan *clay*, *ryodacite*, dan *breccia* dengan tipe alterasi Silika-Argilik dan Argilik. Diduga, deposit emas terdapat pada *hydrothermal breccia* yang berasosiasi dengan liotologi batuan berupa riodasit porpiritik dan alterasi tipe Silika-Argilik. Hal

ini berdasarkan proses genesa emas pada lingkungan vulkanik daerah penelitian berkaitan dengan kontak antara fluida hidotermal dan air permukaan (fluida meteorik) melalui rekahan pada batuan riodasit.

Hasil inversi data resistivita dan *chargeability* menunjukkan klasifikasi skala yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Berdasarkan profil inversi 2D, terlihat kontras resistivitas yang cukup tinggi dengan sekitarnya yang diindikasikan sebagai struktur (patahan/sesar). Struktur ini sebagai pengontrol fluida hidrotermal dengan suhu dan tekanan yang cukup tinggi bergerak ke permukaan kemudian kontak dengan air permukaan. Seiring dengan penurunan suhu dan tekanan, mineral logam terendapkan pada rekahan. Struktur ini berorientasi NE-SW dan dipotong oleh struktur yang berorientasi NW-SE.

Anomali nilai resistivitas sedang-tinggi dan nilai *chargeability* sedang-tinggi diindikasikan sebagai alterasi Silika-Argilik dengan tingkat kompaksi yang tinggi, memiliki karakter masif, dan juga keterdapatan mineral logam seperti silika, kuarsa, pirit, emas, dan lain-lain. Tipe alterasi ini memiliki litologi batuan berupa riodasit. Riodasit pada daerah penelitian terdapat dua jenis yaitu riodasit porpiritik dan riodasit ekuigranular. Keduanya memberikan respon resistivitas dan *chargeability* yang sama namun target yang dicari adalah breksi hidrotermal yang berasosiasi pada riodasit porpiritik. Riodasit ekuigranular termasuk batuan beku yang mengalami sedimentasi akibat tekanan dan terbentuk dari proses intrusi magma. Menurut Marjoribanks tahun 1998 dalam Olberg tahun 1999, riodasit porpiritik memiliki umur lebih muda dibanding riodasit ekuigranular dimana riodasit porpiritik terbentuk ketika magma mengintrusi riodasit ekuigranular. Ketika proses intrusi, akan mengakibatkan terbentuknya rekahan pada riodasit ekuigranular dan riodasit porpiritik sehingga menjadi jalan fluida hidotermal untuk naik ke permukaan. Fluida tersebut kontak dengan air permukaan kemudian terbentuk breksi hidrotermal. Ketika mengalami penurunan suhu dan tekanan, terjadi pengendapan mineral logam yang mengisi rekahan pada breksi hidrotermal yang berasosiasi dengan riodasit porpiritik. Riodasit porpiritik memiliki kandungan mineral kuarsa masif dan ukuran butir yang tidak seragam akibat sortasi yang kurang. Riodasit ekuigranular memiliki kandungan mineral kuarsa yang tergolong tidak masif (berbutir) dan ukuran butir tidak seragam, namun tingkat kompaksi yang lebih tinggi dibanding riodasit porpiritik. Hal ini mengakibatkan respon resistivitas tinggi dan *chargeability* juga tinggi yang mencerminkan kehadiran mineral kuarsa dan mineral logam yang terendapkan.

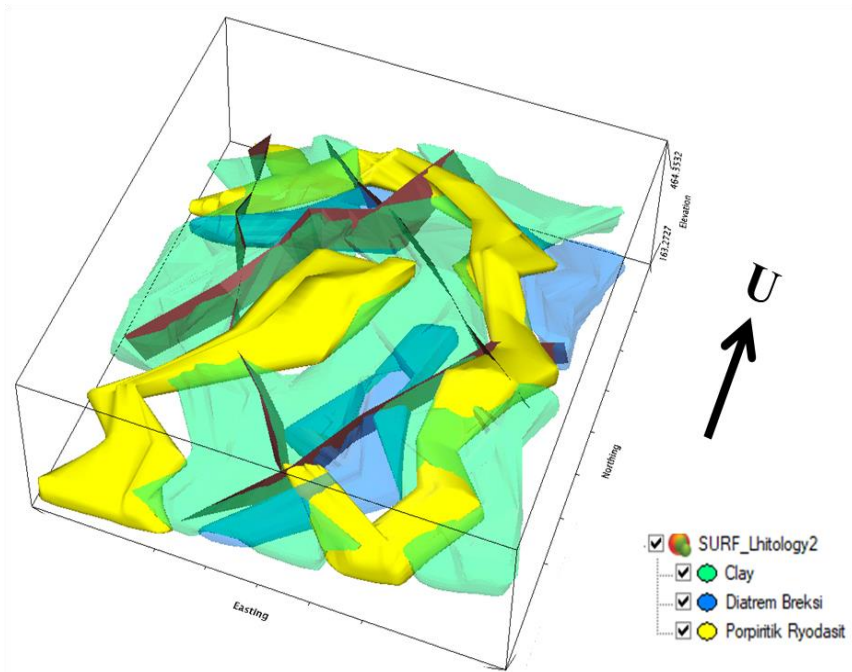
Sedangkan nilai resistivitas tinggi dan nilai *chargeability* rendah diindikasikan dengan tipe alterasi Silika-Argilik karena kompaksi yang tinggi, memiliki karakter masif, namun tidak terdapat mineral logam yang dominan. Tipe alterasi ini memiliki litologi batuan berupa breksi diatrem. Breksi diatrem ini terbentuk akibat adanya kontak langsung antara panas magma dengan air permukaan. Kontak tersebut mengakibatkan ledakan eksplosif pada batuan



riodasit ekuigranular yang diintrusi dan terjadi *overprint* batuan. Hal ini yang menyebabkan diatrem breksia tidak terjadi proses mineralisasi. Litologi ini memberikan respon resistivitas sedang-tinggi karena tergolong batuan beku yang tersedimentasi. Sedangkan respon *chargeability* yang rendah mencerminkan tidak adanya proses mineralisasi pada batuan tersebut.

Nilai resistivitas rendah dan *chargeability* juga rendah diindikasikan tipe alterasi berupa Argilik karena mineral primer seperti kuarsa, silika, plagioklas dan biotit terlaterasi menjadi *clay*. Alterasi yang terjadi tergolong *strong altered* dan hadirnya mineral *oxide* dengan sistem *Mn veinlet* mencerminkan proses oksidasi yang intens pada litologi ini. Namun, nilai resistivitas rendah dan nilai *chargeability* tinggi juga dapat diindikasikan sebagai *clay* karena proses polarisasi membran yang terjadi lebih kuat pada mineral *clay* ketika dialiri oleh arus dari transmitter. Selain itu, karakter *good porosity* dan *poor permeability* mengindikasikan respon resistivitas dan *chargeability* rendah yang memungkinkan terisi air.

Korelasi antara data geologi permukaan dengan data resistivitas dan *chargeability* menghasilkan model geologi yang ditunjukkan pada Gambar 4.14. Keterdapatn kandungan emas diduga berada dalam zona mineralisasi yang terjadi pada batuan *Hydrothermal Breccia*. Hal ini disebabkan karena terjadinya kontak fluida hidrotermal dengan air permukaan dan dinding batuan yang dilewati (*low sulfidation*) kemudian terendapkan mineral-mineral logam pada rekahan (*fracture*). Menurut Widodo tahun 2004, rekahan terbentuk karena dikontrol struktur yang menjadi medium fluida hidrotermal untuk bergerak ke atas akibat suhu dan tekanan. Gambar 4.14, juga menunjukkan riodasit porpiritik berasosiasi dengan struktur (patahan/sesar). Riodasit porpiritik yang diindikasikan sebagai *ore body* memiliki pola distribusi memanjang arah utara-selatan dan berasosiasi pada struktur patahan. Namun untuk dapat membuktikan dengan benar, perlu dilakukan pembaran dan survey geofisika lain untuk mendukung analisa terkait jenis batuan alterasi dan kandungan emas dalam batuan pembawa mineral logam.



**Gambar 4.13** Penampang 3D model geologi daerah penelitian dengan litologi *clay* ditandai dengan blok warna hijau muda, litologi breksi diatrem ditandai dengan blok warna biru dan riodasit porpintik ditandai dengan blok warna kuning. Sedangkan bidang struktur ditandai dengan warna coklat. Riodasit diindikasikan sebagai litologi yang keterdapatan deposit mineral emas.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan identifikasi pola distribusi potensi mineralisasi emas di blok “PGRI”, dapat disimpulkan bahwa :

1. Zona mineralisasi emas daerah penelitian ditunjukkan dengan nilai resistivitas  $90 \Omega\text{m} - 200 \Omega\text{m}$  dan *chargeability* 4 msec – 9 msec dengan litologi *Hydrothermal Breccia* yang berasosiasi dengan *Ryodacite Porphyritic*.
2. Pola distribusi mineralisasi emas terbagi menjadi dua kemenerusan zona mineralisasi utama yang memanjang relatif arah utara-selatan.

#### **5.2 Saran**

Adapun saran yang diberikan berdasarkan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dibutuhkan perpaduan antara metode *Resistivity* dan Induced Polarization dengan metode geofisika lain untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.
2. Dibutuhkan korelasi data resistivitas dan *chargeability* dengan data bor untuk mengurangi tingkat ambiguitas dan meningkatkan validitas informasi yang diperoleh.
3. Dibutuhkan uji laboratorium pada sampel untuk mendapatkan interpretasi kuantitatif yang lebih terpercaya dan akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

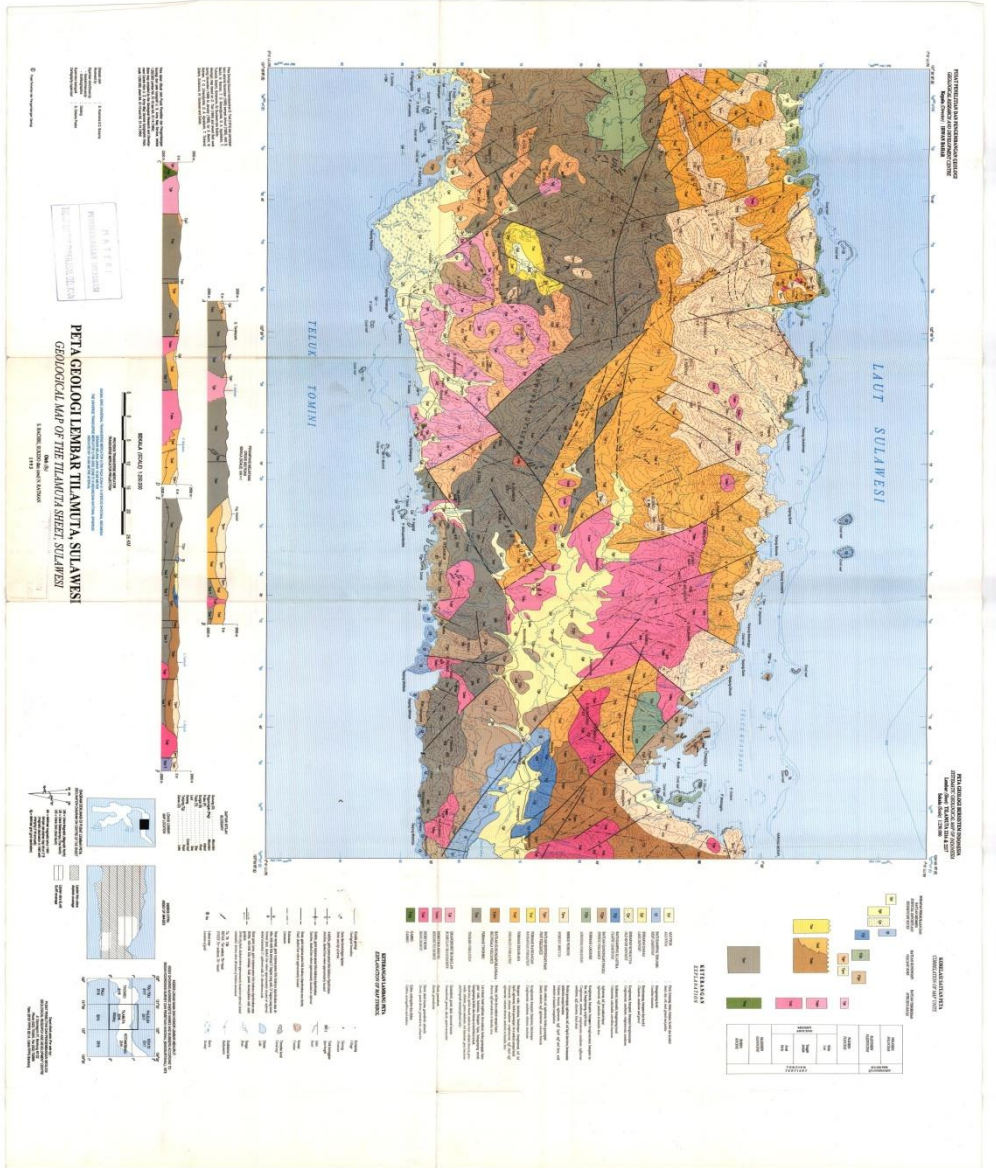
- Ariesandra, Dika., Dadan D.W., Mimin I. 2015. *Karakterisasi Cebakan Mineral Sulfida Berdasarkan Hasil Metode Geolistrik Resistivitas Dan Induksi Polarisasi Daerah Jampang Kabupaten Sukabumi*. Fibusi (JoF) Vol. 3 No. 1.
- Bachri, S., Sukindo, dan N. Ratman. 1993. *Peta Geologi Lembar Talamuta, Sulawesi*.
- Corbett and Leach. 1996. *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization*. North Sidney Australia.
- Craig, J.R., and Vaughan, D. J. 1981. *Ore Microscopy and Ore Petrography*. New York.
- Dewi, K.K., Utama, W., Rochman, J.P.G.N., 2017. *Pemetaan Zona Korosivitas Tanah Berdasarkan Nilai Chargeability Menggunakan Metode Time Domain Induced Polarization Konfigurasi Dipole-Dipole Studi Kasus PT.IPMOMI*. J. Geosaintek 3, 137–142.<https://doi.org/10.12962/j25023659.v3i2.2971>.
- Diantoro, Y. 2010. *Emas : Investasi dan Pengolahannya (Pengolahan Emas Skala Home Industry)*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Faeyumi, M. 2012. *Sebaran potensi emas epitermal di areal eksploitasi PT ANTAM Unit Geomin, Tbk Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor*. Depok : FMIPA UI.
- Hall, R. & Wilson, M.E.J. 2000. *Neogene sutures in eastern Indonesia*. Journal of Asian Earth Sciences, 18, 787-814.
- Hedenquist, J.W., Izawa, E., Arribas, A., and White, N.C. 1996. *Epithermal Gold Deposits: Styles characteristics and exploration*. Society of Resource Geology, Resource Geology Special Publication Number 1, Tokyo, Japan, 24p.
- Loke, M.H. 1999. *Electrical Imaging Surveys For Environmental And Engineering Studies*. A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys. Malaysia. Penang.
- Muthmainnah, Sitti., Lantu, Syamsuddin. *Identifikasi Zona Mineralisasi Sulfida menggunakan Metode Induksi Polarisasi (IP) dan Controlled Source Audio-Frequency Magnetotelluric (CSAMT) Studi Kasus : Arinem-Papandayan*.
- Olberg, D.J., Rayner, J., Langmead, R.P., Coote, J.A.R.. 1999. *Geology of Gosowong Epithermal Gold Deposit, Halmahera, Indonesia*, dalam Proceedings PACRIM 1999, Hal. 179-185 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Pirajno, F. 1992. *Hydrothermal Mineral Deposits. Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*, xviii + 709 pp. Berlin.

- Ransome, F. L., 1907. *Preliminary account of Goldfield, Bullfrog, and other mining districts in southern Nevada, with notes on the Manhattan district*, by G. H. Garrey and W. H. Emmons. U.S. Geol. Survey Bull. 303, 98 p.
- Reynolds, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics*. England : John Wiley and Sons Ltd, Baffins, ChisChester, West Sussex PO19 IUD.
- Schmit, H. 1950. *Epithermal models : genetic types, geometrical controls and shallow features*, in *Mineral Deposit Modelling* (Eds: R V Kirkham et al), Geol Assoc Canada, Spec Pap 40:403-418.
- Setiono, Gunawan., Supriyanto. 2013. *Metode Induced Polarization untuk Eksplorasi Mineral Emas Daerah "B"*. FMIPA UI.
- Telford, W.M., Geldart, L.P., and Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press, New York.
- Ward, S. H. 1990. *Resistivity and Induced Polarization Methods*. SEG Investigation on Geophysics #5 Geotechnical and Enviromental Geophysics, I, 147. DCIP:2.1
- Widodo. 2004. *Laporan Hasil Kegiatan Eksplorasi Bahan Galian Logam Mulia dan Logam Dasar pada wilayah Penugasan Pertambangan, Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral di Daerah Tepungsari dan sekitarnya, Lumajang*. Jawa Timur
- White, N.C., & Hedenquist, J.W. 1995. *Epithermal gold deposits : Styles, characteristic and exploration* : SEG Newsletter, v. 23.
- White, N. C., & Hedenquist, J. W. 1996. *Epithermal gold deposits: styles, characteristics, and exploration*. Society of Resource Geology, Tokyo, Japan, 16 pp.

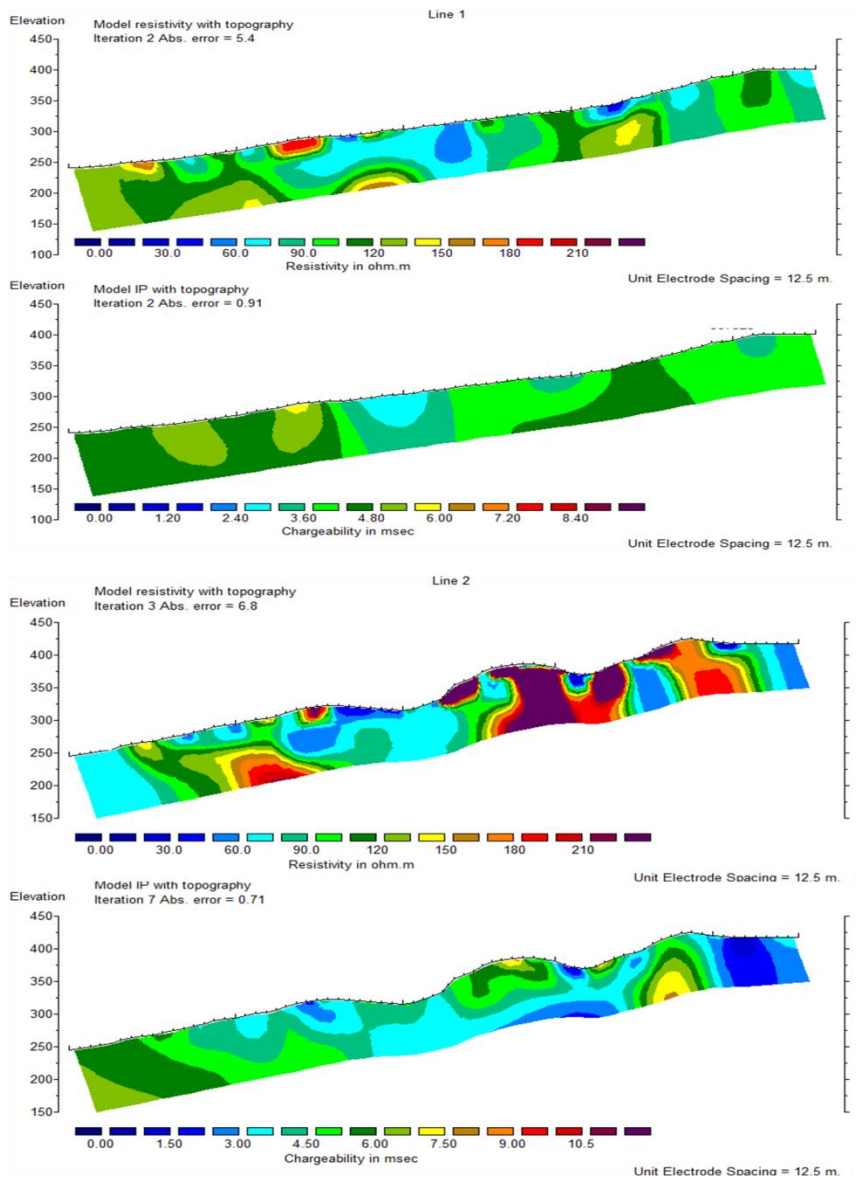
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

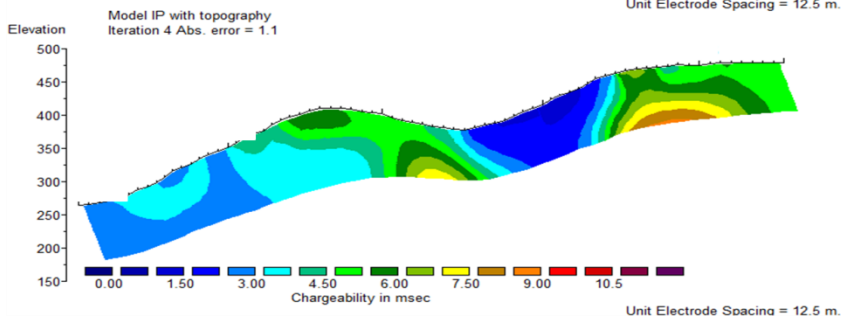
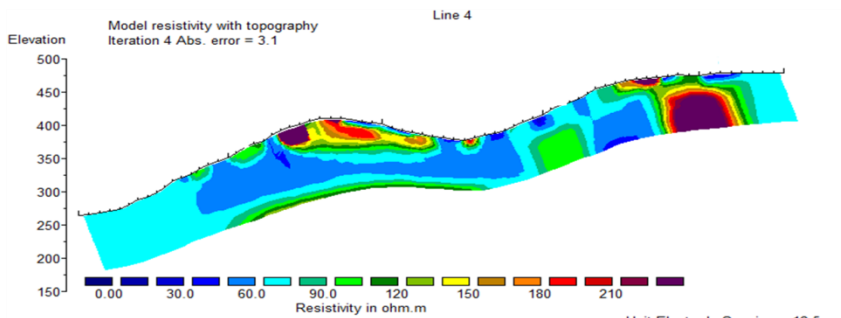
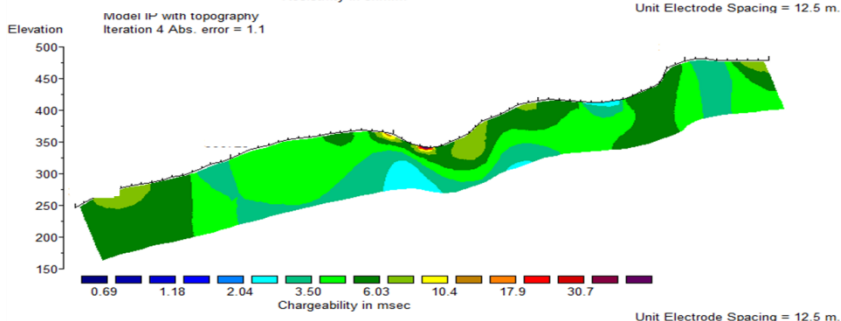
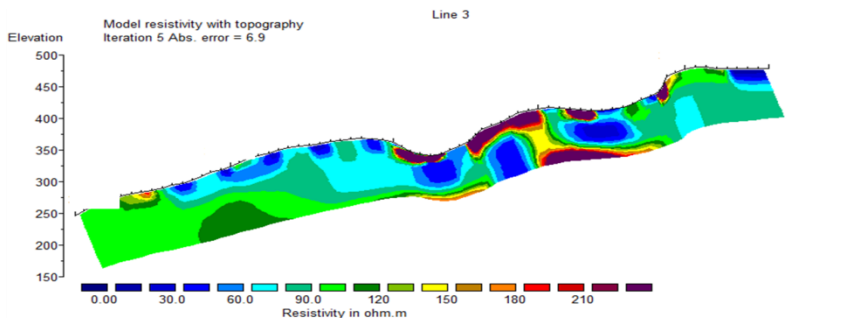
**Peta Geologi Lembar Tilamuta (S. Bachri, Sukindo, dan N. Ratman. 1993)**

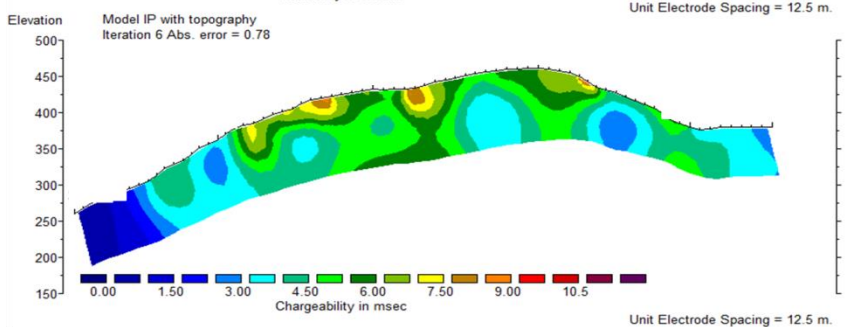
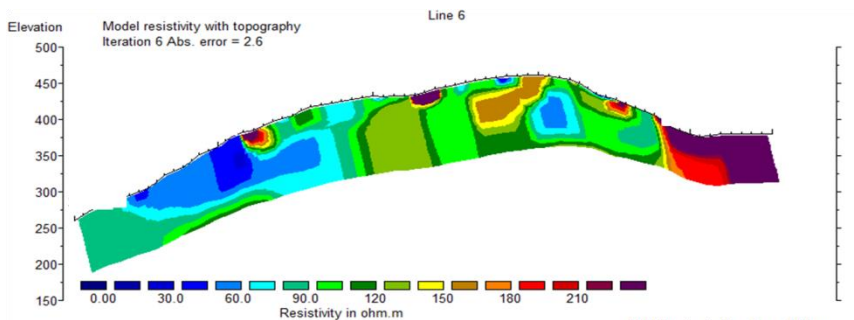
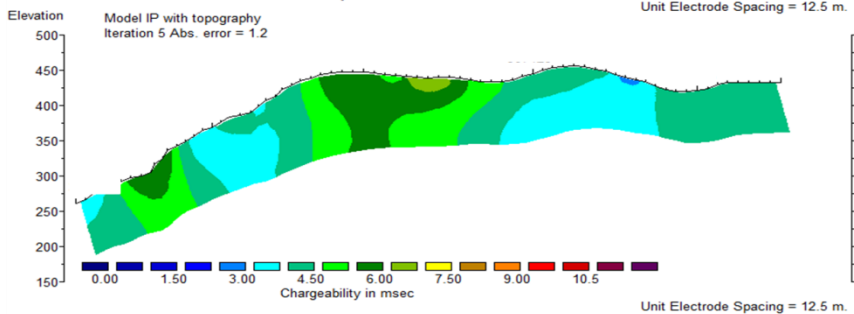
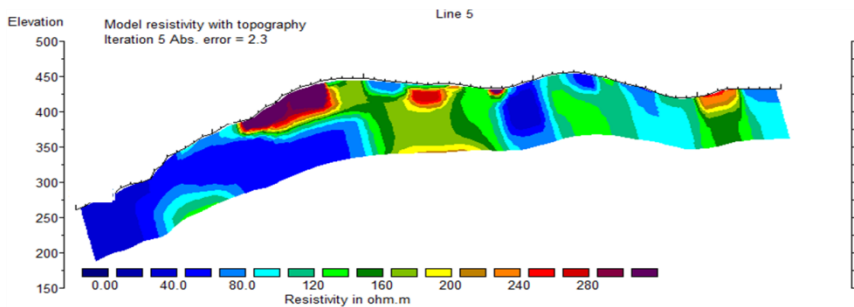


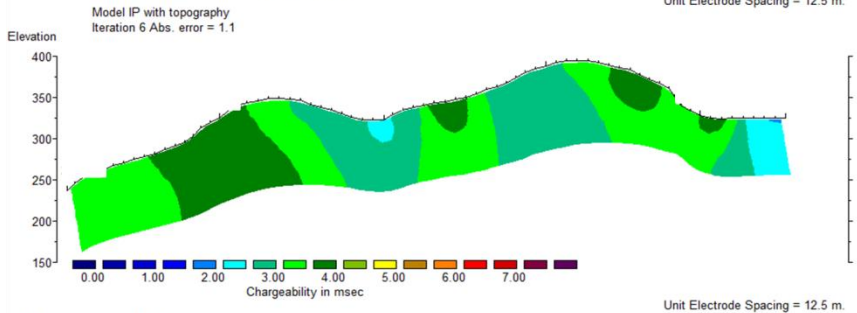
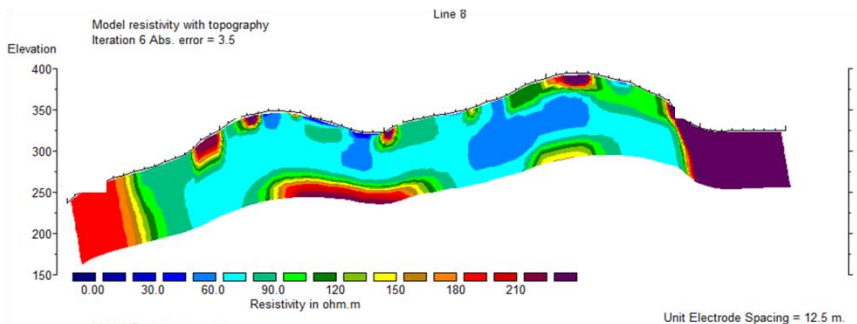
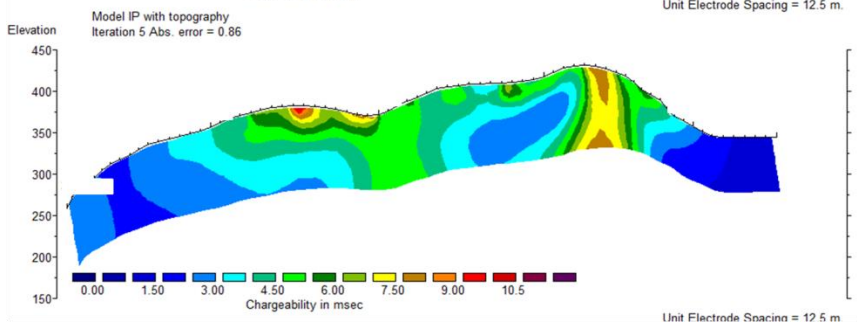
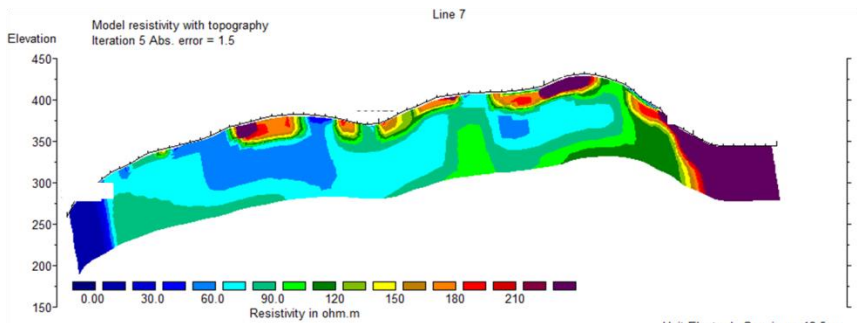
## Section Inversi 2D

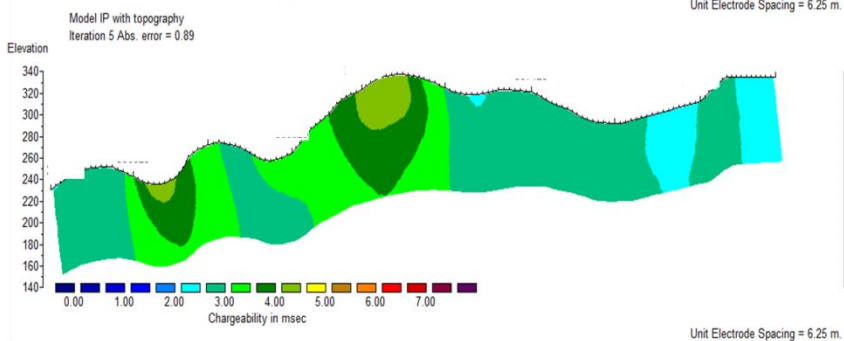
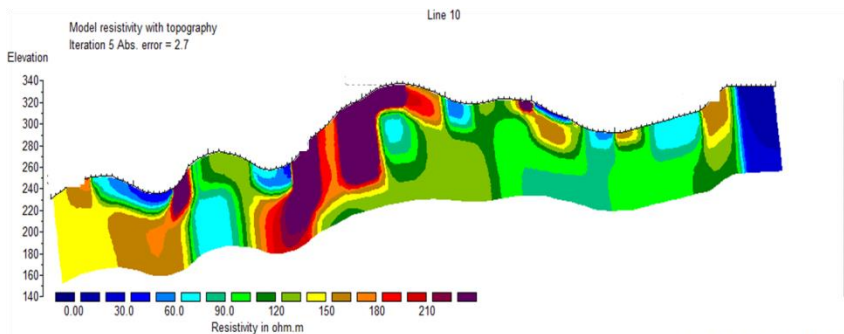
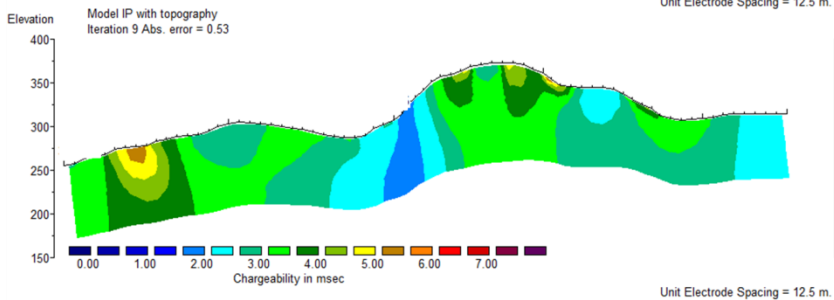
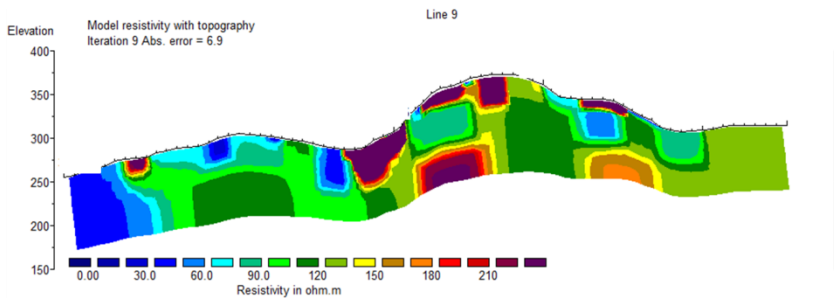




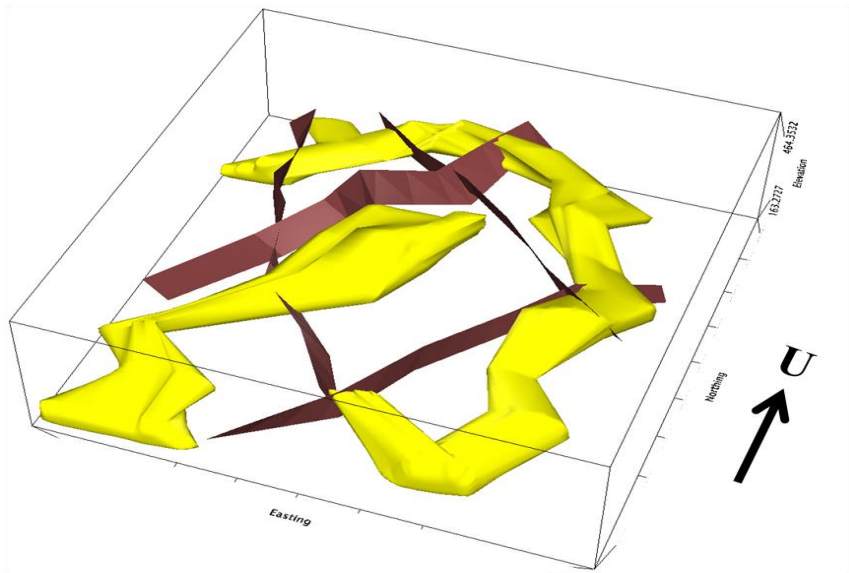








## Model Ore Body



## Pengukuran Lapangan







## Singkapan (*Outcrop*)







## PROFIL PENULIS



Pegri Rohmat Aripin terdaftar sebagai salah satu mahasiswa angkatan 2013 di Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pemuda kelahiran Ngawi, 15 Juli 1995 memiliki hobi di bidang olah raga seperti futsal dan silat. Pria yang akrab dipanggil Pegri ini, berhasil merebut Juara 2 dalam kejuaraan silat pada Pekan Olahraga Mahasiswa ITS (POMITS) tahun 2017. Selama dalam masa kuliah di Surabaya, mahasiswa asal Desa Purwosari RT/RW 03/01 Kecamatan Kwadungan Kabupaten

Ngawi ini telah mengikuti beberapa kegiatan terkait pengembangan diri baik di dalam kampus maupun di luar kampus. Kegiatan pengembangan diri dalam kampus yang pernah diikuti adalah Latihan Keterampilan dan Management Mahasiswa pra-Tingkat Dasar (LKMM Pra-TD) FTSP tahun 2013, sedangkan kegiatan pengembangan diri diluar kampus adalah Pelatihan Pemimpin Bangsa (PPB) #9 di Yogyakarta. Selain aktif di kegiatan pengembangan diri, mantan ketua umum PMR SMA N 2 Ngawi ini juga aktif dalam kegiatan akademik seperti menyusun jurnal atau paper ilmiah terkait bidang geofisika. Paper yang pernah dipublikasikan pemuda umur 22 tahun ini antara lain “*3D Resistivity Data Modelling to Identify Aquifer Geometry - Field Study PDAM Groundwater Conservation Pandaan*”, “*Analysis Of Seismic Attributes and Band-Limited Inversion For Re-Determining The Hidrokarbon Prospect Zone In Data F3 Netherland*”, dan “*Aquifer Analysis Of Pdam Surabaya Using 2d Resistivity Method In Identifying Pollution Of Domestic Waste*”. Sedangkan kegiatan lapangan yang pernah diikuti antara lain Kuliah Lapangan di Karangsambung-Jawa Tengah, Kuliah Lapangan Terpadu di Wringinanom-Gresik, Akuisisi Data IP-Resistivitas di Pohuwato-Gorontalo, dan beberapa kegiatan lapangan lain yang berkaitan dengan penelitian dosen.